Т. П. Лукьянов

НАЛАДКА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

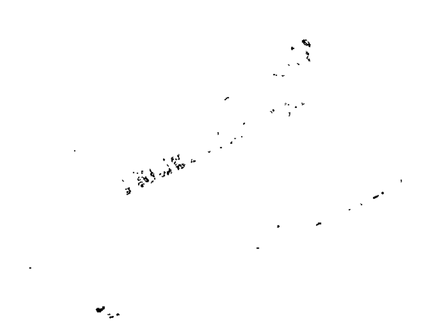


ПРОФТЕХИЗДАТ
1962

Т. П. ЛУКЬЯНОВ

НАЛАДКА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Одобрено Ученым советом
Государственного комитета Совета Министров СССР
по профессионально-техническому образованию
в качестве учебного пособия
для профессионально-технических
училищ



ВСЕСОЮЗНОЕ
УЧЕБНО-ПЕДАГОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ПРОФТЕХИЗДАТ
Москва 1962

ОТ ИЗДАТЕЛЬСТВА

В книге приведены сведения о методах, схемах, объемах и нормах испытаний и наладки электрооборудования различных электроустановок, о необходимых для этой цели испытательных и измерительных приборах и аппаратах, об организации и производстве пусконаладочных работ и выполнении при этом правил техники безопасности.

В необходимых случаях даны краткие пояснения об устройстве электрооборудования, принципах и схемах работы аппаратуры автоматики и других устройств, а также указания по составлению технической документации.

Объемы и нормы испытаний, приведенные в настоящем пособии, не следует рассматривать как официальные.

Книга предназначена в качестве учебного пособия для подготовки в профессионально-технических училищах электромонтеров-наладчиков электроустановок. Она может быть также полезна электромонтерам-наладчикам промышленных предприятий и рабочим электротехнических специальностей при повышении ими производственной квалификации.

Со всеми предложениями и замечаниями просим обращаться по адресу: *Москва, Центр, Хохловский пер., 7, Профтехиздат.*

ПРЕДИСЛОВИЕ

В программе Коммунистической партии Советского Союза, принятой XXII съездом КПСС, раскрывается ведущее значение электрификации всей страны.

Ленинская идея сплошной электрификации является стержнем экономики коммунистического общества. Электрификация играет решающую роль в развитии всех отраслей народного хозяйства, в осуществлении технического прогресса.

Поэтому необходимо обеспечить опережающие темпы производства электроэнергии. Без осуществления электрификации не может быть обеспечена высокая производительность труда, невозможна в широких масштабах автоматизация и комплексная механизация производственных процессов. Без осуществления электрификации нельзя на современном этапе успешно и быстро развивать тяжелую индустрию, строительство, транспорт, сельское хозяйство, производство товаров народного потребления, нельзя поднять культуру производства и быта.

В. И. Ленин выдвинул первый комплексный план развития экономики страны — план ГОЭЛРО, назвав его второй программой нашей партии. Производство электроэнергии намечалось увеличить до 8,8 млрд. *квт·ч* в год. Этот план был выполнен досрочно. Уже в 1947 г. наша страна заняла по производству электроэнергии первое место в Европе и второе место в мире.

XXI съезд КПСС наметил пути развития экономики страны на семилетие, взял курс на электрификацию всей страны как основу создания материально-технической базы коммунистического общества. Принятое съездом постановление предусматривает довести выработку электроэнергии в 1965 г. до 500—520 млрд. *квт·ч*; за семилетие намечается построить свыше

200 тыс. *км* линий электропередачи напряжением 35—500 *кв*.

Уже в 1960 г. мощность всех электростанций составила 66 700 тыс. *квт*. План электрификации страны в соответствии с принятой XXII съездом КПСС программой предусматривает: увеличение в ближайшее десятилетие электровооруженности труда в промышленности почти в три раза; широкое развертывание на базе дешевой электроэнергии электрификации промышленности. Во втором десятилетии намечается в основном завершить электрификацию всей страны.

Годовое производство электроэнергии должно быть доведено к концу второго десятилетия до 2700—3000 млрд. *квт·ч*. Для этого потребуется в течение двадцатилетия соответственно увеличить мощность электростанций, построить сотни тысяч километров высоковольтных магистральных и распределительных сетей во всех районах страны. Будет создана единая энергетическая система СССР, позволяющая передавать электроэнергию из восточных районов в Европейскую часть страны и в энергосистемы других социалистических стран.

Наша страна в 1980 г. будет вырабатывать электроэнергии примерно в полтора раза больше, чем производится в настоящее время во всех остальных странах мира, вместе взятых. Это в восемь-девять раз увеличит электровооруженность труда в промышленности. К этому времени СССР должен обогнать США не только по величине производства электроэнергии, но и по количеству киловатт-часов на душу населения.

Намечается широкий ввод в действие крупных тепловых электростанций мощностью 1200, 2400 и 3000 тыс. *квт*, с турбогенераторами мощностью 200, 300 и 600 тыс. *квт* в одном агрегате.

В Восточной Сибири, помимо завершения Братской и Красноярской ГЭС, намечается построить на Ангаре и Енисее к 1980 г. еще несколько таких мощных гидроэлектростанций, как Саянская, Усть-Илимская, Богучанская, Енисейская, Осиновская и Нижне-Тунгусская. Мощность каждой из них превысит 4 млн. *квт*.

Сооружением Саратовской, Нижне-Волжской, Чебоксарской ГЭС и двух электростанций на Каме будет завершен Волжско-Камский каскад гидроэлектростанций. В единую энергосистему Европейской части страны будет давать свою энергию Нижне-

Обская ГЭС мощностью до 6 млн. *квт*. Кроме того, намечается построить ряд мощных тепловых электростанций в районе Саратова, Волгограда, Горького, в районе Куйбышев — Уфа — Оренбург. Мощные тепловые электростанции будут созданы в Центральном и Центрально-Черноземном районах Европейской части Союза, к югу и на северо-восток от Москвы, на Украине в районе Киева, Кировограда и Николаева, в Донбассе, в Латвии и Белоруссии.

По мере удешевления производства атомной энергии развернется строительство атомных электростанций, особенно в районах с недостатком других источников энергии.

Электротехническая промышленность в ближайшие годы освоит производство турбо- и гидрогенераторов мощностью до 600 тыс. *квт* в одном агрегате, трансформаторов мощностью 300—500 тыс. *ква*. Ведется работа по созданию и внедрению в производство новых единых серий электродвигателей и генераторов постоянного и переменного тока.

Намечен большой рост производства комплектных трансформаторных подстанций и комплектных распределительных устройств, найдут широкое применение крупноблочные устройства низкого напряжения для распределения электрической энергии у потребителей.

Предполагается создание серий аппаратов, позволяющих сборку их в комплектные устройства низкого напряжения для разнообразных потребителей народного хозяйства. Намечен выпуск аппаратуры с повышенной отключающей мощностью, большим числом включений и малыми габаритами.

В области автоматизированного электропривода ведутся работы по созданию устройств управления и регулирования производственных процессов во всех отраслях народного хозяйства.

Найдут широкое применение бесконтактные системы управления и регулирования электропривода с использованием полупроводников, магнитных усилителей и других устройств.

Наряду с инженерно-техническими работниками большую и ответственную работу по электрификации страны ведут наладчики электроустановок. Наладчики в большинстве своем работают на строительстве, монтаже и эксплуатации электроустановок. Поэтому их производственное обучение не может быть

ограничено программой техминимума, а должно включать также отдельные элементы инженерно-технической подготовки.

Настоящее пособие ставит целью познакомить молодых рабочих с основными методами наладки различного вида электрооборудования — электрических станций, подстанций, промышленных электроустановок.

При изложении материала автор исходил из того, что учащиеся и электромонтеры, выполняющие наладочные работы, имеют представление об устройстве и назначении электроустановок и электрооборудования, располагают необходимым минимальным практическим опытом в обращении с испытательной аппаратурой, измерительными приборами, инструментом и знают основы правил по технике безопасности.

Автор считает своим долгом выразить благодарность проф. д-ру техн. наук М. Ф. Пояркову, просмотревшему рукопись и давшему весьма ценные замечания, рецензентам А. Д. Герру, Л. И. Арцышевскому и И. Х. Биккенину, а также проф. П. Г. Грудинскому, канд. техн. наук доц. Л. Н. Баптиданову, канд. техн. наук Г. К. Жерве, инж. М. Л. Берковичу, Г. Л. Вульману, В. С. Кондахчану, М. В. Хомякову, В. С. Хмелевскому за помощь, оказанную автору в работе над рукописью.

АВТОР

Глава первая

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ПО ИСПЫТАНИЯМ И ПУСКОНАЛАДОЧНЫМ РАБОТАМ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ

§ 1. ВИДЫ ИСПЫТАНИЙ, ИХ НАЗНАЧЕНИЕ И ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА

Электроустановки и применяемое в них электрооборудование в процессе монтажа, после его окончания и в условиях эксплуатации подлежат специальной проверке, опробованию и наладке в соответствии с требованиями, которые вытекают из условий их эксплуатации и специфических особенностей каждого вида установленного электрооборудования.

Несоблюдение этого правила влечет за собой, отклонение от заданного режима работы или нарушение бесперебойного снабжения электроэнергией потребителей, повреждение или полное разрушение электрооборудования.

Электрооборудование подвергается повреждениям из-за естественного его износа (старения), конструктивных дефектов, при недоброкачественности применяемых электроизоляционных материалов и повреждений изоляции при монтаже и транспортировке.

Под воздействием окружающей среды, механических напряжений, электрического поля, температуры, влаги и т. п. электрооборудование в процессе эксплуатации подвергается естественному износу. В условиях эксплуатации эти воздействия всегда действуют совместно, в определенных сочетаниях, вызывая постепенные необратимые ухудшения или разрушения изоляции.

Условия старения изоляции, находящейся на открытом воздухе или в сырых помещениях, а также подвергающейся перегрузкам, будут иными, чем оборудования в закрытых помещениях с нормальным режимом работы.

К проверке, испытаниям и наладке электрооборудования, начиная с изготовления его отдельных деталей, и в дальнейшем

при его сборке на заводе, установке на месте и эксплуатации, предъявляются строгие и точно регламентированные требования.

Для обеспечения этих требований производятся следующие испытания электрооборудования:

1. Типовые и контрольные в соответствии с действующими Государственными общесоюзными стандартами (ГОСТ).

2. Приемно-сдаточные в соответствии с Правилами устройства электроустановок (ПУЭ).

3. Профилактические и другие эксплуатационные испытания в соответствии с Правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей (ПТЭ), «Объемом и нормами испытаний электрооборудования», производственными инструкциями по отдельным видам электрооборудования.

Типовые и контрольные испытания электрооборудования. Эти испытания производятся на заводе-изготовителе по программе и методике, изложенной в соответствующих стандартах. В случае невозможности произвести какие-либо испытания на заводе, их выполняют на месте установки данного электрооборудования.

Типовые испытания производятся с целью определения годности серийной партии электрооборудования и проверки соответствия требованиям, предъявляемым к нему соответствующими стандартами, а при отсутствии их — техническими условиями на поставку. Сроки проведения типовых испытаний и количество электрооборудования, подлежащего испытанию, также устанавливаются стандартами или техническими условиями.

Контрольные испытания электрооборудования производятся с целью проверки качества и соответствия его характеристик расчетным данным.

Приемно-сдаточные испытания. Этим испытаниям должны подвергаться на месте все вновь сооруженные и реконструированные электроустановки в целом, а также установленное в них электрооборудование.

Целью этих испытаний являются:

проверка технического состояния электрооборудования, приборов и аппаратов, первичной и вторичной коммутации и качества их монтажа;

выявление соответствия электрооборудования проекту и требованиям ГОСТ;

снятие характеристик и сопоставление их с результатами заводских испытаний;

регулировка, наладка и включение в работу всей электроустановки в целом.

Практика показала, что во время наладки и приемно-сдаточных испытаний могут быть выявлены существенные недостатки

проекта, оборудования и монтажа и предложены рациональные решения по их устранению. В этом заключается важная сторона работы наладчика электроустановок.

Кроме того, эти испытания должны послужить исходными данными для сравнения с ними результатов профилактических испытаний, проводимых в условиях эксплуатации в период капитальных ремонтов и при текущих проверках. Согласно ПУЭ заключение о пригодности ввода оборудования в эксплуатацию составляется на основе анализа результатов приемно-сдаточных испытаний по электроустановке в целом. Оценка ненормируемых величин производится путем сопоставления полученных при испытании величин с результатами испытания однотипного оборудования, а также с имеющимися результатами заводских или предыдущих испытаний.

Оборудование при удовлетворительных результатах испытаний вводится в эксплуатацию после его опробования в рабочем режиме. Так, например, разрешается вводить во временную эксплуатацию турбогенераторы и другое основное и вспомогательное оборудование электростанций, если после непрерывной 72-часовой работы не обнаружено недостатков, препятствующих их нормальной эксплуатации. Трансформаторные пункты и линии электропередачи напряжением до 10 *кв* включительно допускается принимать в эксплуатацию включением толчком. Известно, что наладочные работы и приемно-сдаточные испытания проводятся как в период монтажа электроустановок, так и после его окончания перед включением в эксплуатацию.

Профилактические испытания электрооборудования. Эти испытания проводятся в условиях эксплуатации и являются весьма эффективными в части выявления дефектов и предупреждения аварийных отключений электрооборудования и простоев промышленных предприятий. Широкое внедрение профилактических испытаний позволяет также реже проводить капитальные и другие ремонты электрооборудования и обеспечивает необходимое качество отпускаемой электроэнергии (поддержание нормальной частоты и заданного уровня напряжения в сети).

Система заводских, приемно-сдаточных и профилактических испытаний должна быть построена так, чтобы можно было по возможности обнаружить все дефекты электрооборудования, препятствующие выполнению электрооборудованием своих основных функций или снижающие его электрическую или механическую прочность. При этом, однако, испытания следует выполнять по возможности наиболее простыми способами.

Выявленное дефектное электрооборудование должно подвергаться ремонту или заменяться резервным.

Сложные работы по наладке линейных защит, специального оборудования — таких, например, как ртутные выпрямители,

электродвигатели прокатных станов, устройства компаундирования и др., требующих более высокой подготовки и квалификации в настоящей книге, естественно, не рассматриваются.

Для испытаний электрооборудования и наладки электроустановок отечественная промышленность выпускает разнообразное испытательное оборудование и электроизмерительные приборы, как-то: мосты постоянного тока для измерения электрических сопротивлений; мосты переменного тока для измерения тангенса угла диэлектрических потерь, емкости и индуктивности; мегомметры; приборы для контроля влажности изоляции; кенотронные аппараты; приборы для испытания масла и других диэлектриков; универсальные аппараты для испытания изоляции; регулировочные устройства и регуляторы напряжения (вариаторы); электросекундомеры; комплект приборов для отыскания места повреждения в кабельных и воздушных линиях; универсальные переносные осциллографы; приборы для контроля контактов на постоянном токе; приборы для контроля контактов на переменном токе под рабочим напряжением и током; штанги для контроля изоляторов и контактов; переносные устройства для испытаний цепей вторичной коммутации и аппаратов повышенным напряжением; аппараты для обнаружения повреждений в обмотках электрических машин и аппаратов; высоковольтные аппараты для испытания на электрическую прочность новой изоляции обмоток гидрогенераторов; фазоиндикаторы, а также много других аппаратов, приборов и устройств, которые ускоряют и облегчают труд наладчика при проведении им испытаний.

Описание, технические параметры и принципы действия наиболее распространенной испытательной аппаратуры и приборов приведены во второй главе.

§ 2. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОСТОЯННОМУ ТОКУ

Цель измерений. Измерение сопротивления постоянному току широко применяется при всех пусконаладочных работах с целью выявления целости токоведущих цепей машин и трансформаторов, обнаружения обрывов в параллельных цепях и металлических витковых замыканий в катушках, проверки качества паек и правильности положения переключателей трансформаторов и в других случаях.

По данным измерения величины сопротивления постоянному току определяется средняя температура обмоток трансформаторов и роторов электрических машин при тепловых испытаниях, а также подсчитываются активные потери I^2R в опытах короткого замыкания мощных трансформаторов.

Влияние температуры проводника на его сопротивление. Из основ электротехники известно, что с уве-

личением температуры проводника увеличивается и его удельное сопротивление.

Вне зависимости от того каким способом измеряется сопротивление в холодном состоянии (по термометру или по изменению сопротивления), его измеренная величина должна быть приведена к определенной температуре, т. е. к одинаковым температурным условиям, для того, чтобы иметь возможность ее сопоставления с результатами предыдущих и последующих измерений, с расчетными данными или температурой нагрева другого аналогичного электрооборудования. За такую условную температуру принимается обычно +15 или +75°.

Как известно, для определения сопротивления нагретого проводника (обмотки) применяется формула

$$R_\vartheta = R_{15}[1 + \alpha(\vartheta - 15)],$$

где R_ϑ — сопротивление нагретого металлического проводника (обмотки), соответствующее температуре ϑ;

R_{15} — сопротивление холодного металлического проводника (обмотки), соответствующее температуре 15°;

α — температурный коэффициент сопротивления материала проводника, равный относительному увеличению его удельного сопротивления при повышении температуры на 1°. Отсюда

$$R_{15} = \frac{R_\vartheta}{1 + \alpha(\vartheta - 15)}.$$

Коэффициент α при температуре 15° для меди равен 0,004, алюминия — 0,00385, стали — 0,006, фехрали — 0,00028, нихрома — 0,00015 и константана — 0,000005 [1]. Однако в практике наладочных работ этой формулой пользуются очень редко. Измерение сопротивления постоянному току при производстве наладочных работ обычно выполняется при холодных обмотках (при температуре окружающей среды).

Для сравнения результатов измерения сопротивлений между собой и с результатами предыдущих измерений, а также для приведения сопротивления обмоток машин и трансформаторов к одной и той же температуре (75 или 15°) следует пользоваться более простой формулой

$$R_г = R_х \cdot \frac{235 + \vartheta_г}{235 + \vartheta_х},$$

где $R_х$ — сопротивление обмотки, измеренное при температуре окружающей среды, *ом*;

---

[1] Анализ показывает, что этот коэффициент зависит от температуры. Так, для меди $\alpha = \frac{1}{235 + \vartheta_х}$, для алюминия $\alpha = \frac{1}{245 + \vartheta_х}$.

$R_г$ — сопротивление обмотки, измеренное в горячем (нагретом) состоянии, *ом*;

$\vartheta_х$ — температура окружающей среды, *град*;

$\vartheta_г$ — температура обмотки в горячем (нагретом) состоянии, *град*.

При измерении сопротивления фиксируют температуру, при которой производят измерение. За температуру $\vartheta_х$ обмотки машины или трансформатора, находящихся в течение длительного времени в отключенном состоянии в условиях окружающей среды с практически неизменной температурой, принимают температуру окружающей среды. Например, за температуру обмотки длительно отключенного масляного трансформатора во всех случаях следует принимать температуру верхних слоев масла в трансформаторе.

Методы измерения сопротивления постоянному току. Измерение величины сопротивления обмоток постоянному току производится одним из следующих методов: методом электрического моста, методом амперметра и вольтметра, методом микроомметра.

Выбор того или иного метода определяется требуемой точностью измерения, величиной измеряемого сопротивления, классом точности имеющихся измерительных приборов. Как правило, измерения сопротивления всех цепей следует производить с помощью моста.

Измерения сопротивления постоянному току методом электрического моста. Мостовые методы применяются главным образом при лабораторных измерениях, где требуется высокая точность, и обладают большим преимуществом перед всеми остальными методами измерения сопротивлений постоянному току. Они могут быть составлены из отдельных магазинов сопротивлений, точность подгонки которых обычно значительно выше точности очень хороших стрелочных приборов.

При измерениях сопротивлений мостовыми методами может быть достигнута высокая точность порядка 0,001%. Кроме того, точность мостовых схем хорошо и надолго сохраняется, тогда как точность стрелочных приборов легко может быть понижена, например при перегрузке, неправильной транспортировке, неправильном включении или отключении. По этим причинам мостовые схемы нашли свое широкое применение там, где требуется более точное определение абсолютной величины сопротивления. Например, при определении сопротивлений обмоток крупных машин, генераторов, трансформаторов и другого электрооборудования, с целью выявления нарушения контактов, целостности обмотки, наличия в ней витковых замыканий и т. д.

Измерения сопротивления постоянному току методом амперметра и вольтметра. Этот метод яв-

ляется менее точным по сравнению с методом электрического моста.

Метод вольтметра и амперметра может быть применен во всех случаях, когда не требуется особенно большой точности. Он особенно удобен для измерения сопротивлений, находящихся под током, а также в тех случаях, когда имеется необходимость измерить в рабочем режиме сопротивление, значительно меняющее свою величину от нагревания вследствие нагрузки. Приборы следует подбирать так, чтобы измеряемые величины находились в пределах от 20 до 95% полной шкалы.

Точность измерения при этом методе определяется суммой погрешностей вольтметра и амперметра. Если оба прибора применяются класса 0,5, то общая погрешность измерения может доходить до 1% измеренной величины, а при классе точности 1—2% и т. д.

Для измерения сопротивлений и получения достаточно точных результатов должны применяться приборы класса точности не ниже 0,5, дающие погрешность не более 0,5%. Пределы измерения приборов должны выбираться с таким расчетом, чтобы отсчеты показания производились на второй половине шкалы приборов. Например, в таких случаях используют многопредельные вольтамперметры магнитоэлектрической системы для измерений тока и напряжения в цепях постоянного тока с пределом измерений напряжения от 0,045 до 300 *в* и тока от 0,03 до 30 *а*.

Измерение методом амперметра-вольтметра основано на законе Ома:

$$R = \frac{U}{I} \text{ ом},$$

где R — измеренное сопротивление проводника в холодном состоянии, *ом*;

U — напряжение вольтметра, *в*;

I — ток, измеренный амперметром, *а*.

При измерении сопротивлений по методу амперметра и вольтметра возможны две основные схемы включения приборов (рис. 1, *а*, *б*). При рассмотрении обеих схем можно легко установить, что при вычислении измеренного сопротивления по закону Ома без применения поправок метод даст лишь приближенное значение сопротивления. Более точные измерения можно произвести с введением поправок, учитывающих собственное потребление приборов:

$$R_x = \frac{U_в}{I_а - \frac{U_в}{R_в}} = \frac{U_в}{I_а - i_в} \text{ — для схемы рис. 1, } а;$$

$$R_x = \frac{U_в - I_а \cdot R_а}{I_а} = \frac{U_в}{I_а} - R_а \text{ — для схемы рис. 1, } б,$$

где $R_в$ и $R_а$ — внутренние сопротивления вольтметра и амперметра, *ом*.

В случае применения схемы по рис. 1, *а* амперметр учтет ток, проходящий по вольтметру, а по рис. 1, *б* вольтметр учтет падение напряжения не только в измеряемом сопротивлении, но

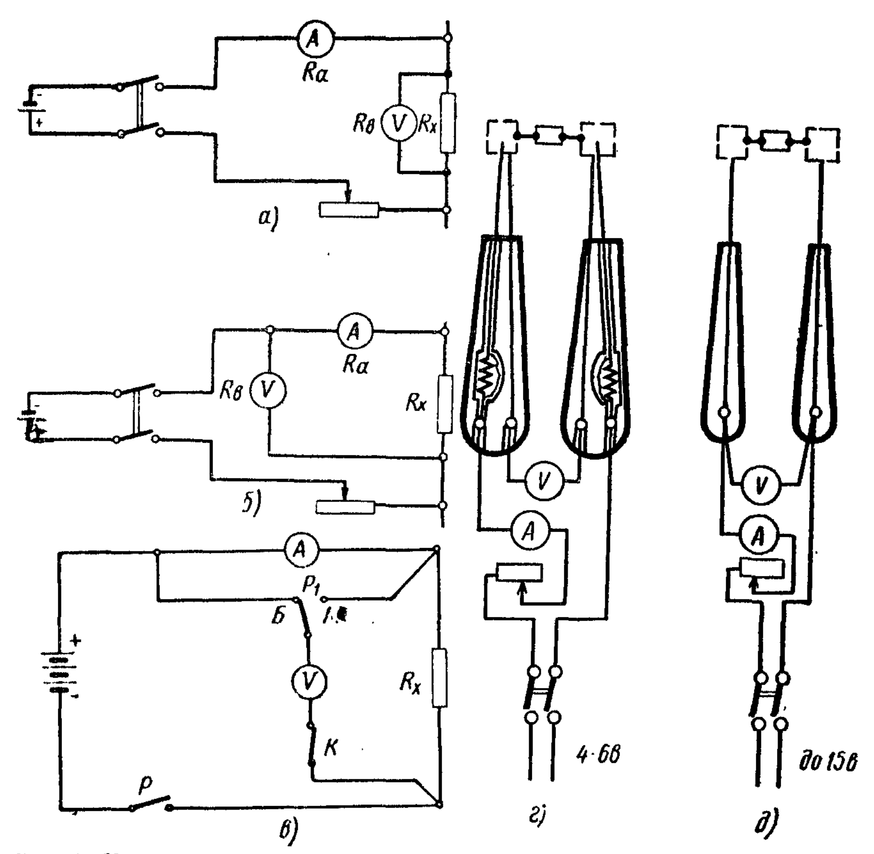


Рис. 1. Принципиальные схемы измерения сопротивления постоянному току: *а* — методом амперметра, *б* — методом вольтметра, *в* — комбинированным методом, *г* и *д* — комбинированным методом, но с применением острых металлических игл

и в обмотке амперметра. Если в первом случае соотношения внутреннего сопротивления вольтметра и измеренного сопротивления таковы, что по вольтметру пройдет ток более 2% тока измеренного сопротивления, то погрешность будет выше допустимой. Во втором случае, если внутреннее сопротивление амперметра имеет величину более 2% измеренного сопротивления, то погрешность будет завышенной.

Следовательно, при измерениях сопротивлений по методу амперметра-вольтметра следует пользоваться приборами более высокого класса точности. В тех случаях, когда неизвестно сопротивление прибора, а следовательно, невозможно ввести поправки, из двух приведенных схем предпочтительно пользоваться схемой рис. 1, *а* при измерении малых сопротивлений, т. е. менее одного ома; при измерении сопротивлений более одного ома пользуются обычно схемой, показанной на рис. 1, *б*.

В связи с тем, что в ряде случаев приходится пользоваться обеими схемами, в схеме измерительной установки следует предусматривать переключение с одной схемы на другую (рис. 1, *в*). При включении переключателя P_1 в положении *М* схема соответствует рис. 1, *а* и применяется для измерения малых сопротивлений. При включении переключателя в положение *Б* схема соответствует рис. 1, *б* и применяется для измерения больших сопротивлений. При любой схеме должна быть предусмотрена возможность включения с помощью ключа *К* вольтметра только после присоединения схемы рубильником *Р* и при установившемся значении тока, а отключение вольтметра должно производиться до отключения схемы рубильником *Р*. Невыполнение этого порядка включения и отключения вольтметра может привести к его повреждению.

Для ускорения процесса измерения применяются схемы, изображенные на рис. 1, *г*, *д*, при этом приборы присоединяют к измеряемому сопротивлению при помощи щупов. Щупы (рис. 1, *г*) более совершенны и дают более точные результаты измерения, так как из показания вольтметра исключаются показания напряжения в переходных сопротивлениях контактов токовой цепи и обеспечивается условие включения вольтметра только после замыкания токовой цепи.

•Пример. Требуется определить сопротивление фазы обмотки статора, если пределы измерения вольтметра 5 *в*, а амперметра 10 *а*, число делений шкал обоих приборов 200, показания приборов соответственно 120 и 100 делений. Исходя из приведенных данных, цена одного деления вольтметра равна $\frac{5}{200}=0{,}025$ *в*, а цена одного деления амперметра $\frac{10}{200}=0{,}05$ *а*. Следовательно, результат измерения сопротивления будет:

$$R_x = \frac{120 \cdot 0{,}025}{100 \cdot 0{,}05} = 0{,}6 \text{ ом}.$$

Метод амперметра-вольтметра получил широкое распространение при измерении сопротивлений как наиболее простой и доступный.

Для того чтобы способ вольтметра и амперметра давал достаточно правильные результаты, необходимо соблюдать следующие условия:

1) количество разъемных контактов в схеме должно быть наименьшим, все разъемные контакты следует надежно пропаять;

2) источником постоянного тока должна служить сеть или хорошо заряженная батарея аккумуляторов достаточной емкости напряжением 4—6 *в*;

3) отсчеты по обоим приборам должны производиться одновременно двумя наблюдателями по команде одного из них;

4) каждое сопротивление следует измерять при нескольких различных значениях тока, переходя от больших к меньшим. Нормальное количество измерений берется равным трем; при испытаниях повышенной точности — равным пяти;

5) при измерении величины одного и того же сопротивления следует по возможности сохранять пределы измерения приборов, с тем чтобы все измерения производились при одних и тех же условиях и отсчитывались по одной и той же шкале;

6) при измерениях повышенной точности следует учитывать поверочные поправки приборов по их свидетельствам;

7) во избежание нагревания обмоток измерительных приборов величины пропускаемого через них тока не должны превосходить 20% номинального тока обмотки;

8) подсчет результатов измерения должен производиться немедленно по его окончании;

9) чтобы измерения протекали быстро и правильно, необходимо придерживаться определенного порядка их производства.

Измерения сопротивления постоянному току методом микроомметра. Этот метод применяется для измерения малых сопротивлений при выполнении пусконаладочных работ. Измерения с помощью микроомметра производятся быстро, так как перед началом и в процессе измерения отсутствует необходимость в регулировке прибора. Метод особенно пригоден при большом числе измерений, например, переходных сопротивлений контактов, междукатушечных соединений полюсов ротора, сопротивлений между соседними парами коллекторных пластин, а также переходных сопротивлений контактов ошиновки, выключателей, разъединителей и другого электрооборудования.

§ 3. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ

Назначение и свойства электроизоляционных материалов. Электроизоляционные материалы применяются для изоляции проводников обмотки один от другого, между фазами и относительно земли (корпуса). Выбор изоляционных материалов для изоляции обмоток определяется условиями работы машины и свойствами изоляционных материалов.

Наиболее важными свойствами этих материалов являются: электрическая прочность, которая определяется пробивным напряжением и выражается в киловольтах на 1 *мм* толщины изоляционного материала. Если изоляция состоит из отдельных слоев различных материалов, то напряжение, действующее на такую изоляцию, распределяется по слоям неравномерно и может оказаться, что один из слоев, на который приходится наибольшее напряжение (на единицу толщины), будет пробит. В частности, из-за неплотного прилегания слоев изоляции образуются прослойки воздуха, пыли и влаги, которые под воздействием напряжения ионизируются, что приводит к постепенному разрушению соседних слоев изоляции.

Места, где секции обмотки выходят из пазов машины, являются наиболее слабыми, так как, кроме неравномерной электрической нагрузки, в этом месте наиболее часты механические повреждения изоляции.

Весьма важной характеристикой изоляционных материалов является их теплостойкость, т. е. способность электроизоляционных материалов и изделий выдерживать кратковременное и длительное воздействие высокой температуры, а также резкие смены температуры.

Из вышеизложенного следует, что сопротивление изоляции машины зависит от качества и свойств изоляционных материалов; толщины и поверхности изоляции между частями машины, находящимися под напряжением, и корпусом машины; содержания влаги в изоляции, температуры и т. д. Все это приводит к тому, что величина сопротивления изоляции не является постоянной и не всегда может служить совершенно достаточным критерием для установления состояния изоляции и степени ее надежности. Однако величина сопротивления изоляции характеризует электрическую прочность, которую необходимо знать перед производством основных испытаний.

Методы испытания изоляции. Сопротивление изоляции электрических цепей как между фазами, так и относительно земли является одним из важнейших показателей состояния любой электроустановки. Контроль исправности изоляции цепей в условиях эксплуатации, а также при включении новых объектов является совершенно обязательным. Без проверки состояния изоляции электрические устройства не могут включаться в работу.

Изоляция электрических машин в процессе эксплуатации подвергается постепенному износу (старению) под воздействием механических напряжений от электрического поля и условий окружающей среды (температуры, влаги, масел, химических веществ, пыли и других факторов). Износ и старение изоляции происходят в результате изменения самой структуры материалов, понижения электрической и механической прочности, за-

твердевания, разбухания изоляционных гильз и пазовой изоляции, растрескивания изоляции, повреждения лаковой пленки или вытекания лака, потемнения цвета изоляционных материалов от перегревов, разрушения изоляции вследствие электрических разрядов и по другим причинам, которые приводят к разрушению изоляции или ухудшению основных ее характеристик по сравнению с первоначальным состоянием.

Существует несколько методов испытания изоляции: измерение сопротивления изоляции, определение ее увлажненности, определение угла диэлектрических потерь и испытание изоляции повышенным напряжением.

Измерение сопротивления изоляции. Это измерение производится с помощью мегомметра. При этом следует учитывать, что величина сопротивления изоляции в значительной степени зависит от времени, через которое произведен отсчет. Поэтому для получения сопоставимых результатов необходимо производить отсчет через точно установленные промежутки времени и при относительно установившемся значении сопротивления изоляции; обычно это наступает через 1 *мин* после приложения напряжения.

Сопротивление изоляции, как всякое электрическое сопротивление, измеряется в омах и обычно равно сотням тысяч и миллионам омов. Для удобства сопротивление изоляции принято выражать в мегомах (*Мом*), т. е. в миллионах омов.

Работы по измерению сопротивления изоляции должны производиться в соответствии с действующими правилами техники безопасности лицами, имеющими соответствующую квалификационную группу по этим правилам.

Метод абсорбции. При контроле сопротивления изоляции электрооборудования пользуются так называемым методом абсорбции, основанным на сравнении показаний мегомметра, полученных через 15 и 60 *сек* после приложения напряжения к изоляции обмотки оборудования. В качестве показателя для сравнений принимается отношение $\frac{R_{60}}{R_{15}}$ (коэффициент абсорбции $K_{аб}$), где R_{60} представляет значение сопротивления изоляции, отсчитанное через 60 *сек* после приложения напряжения (одноминутное значение сопротивления изоляции), R_{15} — отсчитанное через 15 *сек* (15-секундное значение сопротивления изоляции).

Этот метод дает относительно объективную характеристику для оценки состояния изоляции. Величина сопротивления изоляции и отношение $\frac{R_{60}}{R_{15}}$ не нормируются, но должны сопоставляться с предыдущими измерениями и учитываться при комплексном рассмотрении результатов измерения.

Физический смысл метода абсорбции заключается в том, что всякая электрическая изоляция, будучи диэлектриком, обладает электрической емкостью, причем величина этой емкости зависит от геометрических размеров и материала изоляции.

Всякая изоляция является гигроскопической, способной поглощать влагу; влага и высокая температура способствуют ухудшению изоляции. Приложенное к изоляции напряжение мегомметра обусловливает проникновение через толщу изоляции токов, которые как бы «насыщают» изоляцию. Эти токи названы токами абсорбции. Времени для проникновения тока в изоляцию требуется тем больше, чем больше геометрические размеры и качество изоляции будут «препятствовать» этому. Чем крупнее машины, тем затруднительнее, вращая мегомметр вручную, определить коэффициент абсорбции. В этих случаях применяется мегомметр с пристроенным электродвигательным приводом ПМ-89, обеспечивающим его равномерное вращение с необходимой скоростью. Чем больше изоляция содержит посторонних включений, в частности, чем больше она увлажнена, тем коэффициент абсорбции будет меньше. При увеличении температуры значение коэффициента абсорбции уменьшается и, наоборот, при снижении — увеличивается. Это обстоятельство следует принимать во внимание при оценке результатов измерений, полученных при температурах, отличных от нормируемых.

Величина сопротивления изоляции, полученная при отсчетах, в различные моменты времени зависит от длительности приложения напряжения к изоляции. Чем больше времени прошло от момента приложения к изоляции напряжения до момента отсчета, тем больше получается измеренное значение сопротивления изоляции. Кривые зависимости сопротивления изоляции во времени являются кривыми абсорбции, которые характеризуют увлажненность изоляции (рис. 2).

Изучение характера изменения коэффициента абсорбции для влажного и сухого состояния изоляции электрических машин и трансформаторов позволило применить этот метод для контроля качества сушки изоляции. По указанному методу производят измерение мегомметром сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса машины и между обмотками.

Коэффициент абсорбции дает возможность судить о состоянии изоляции обмоток. При температуре 15—30° для неувлажненных обмоток этот коэффициент лежит в пределах 1,3—2. Увлажненные обмотки имеют коэффициент абсорбции, близкий к единице.

Измерение коэффициента абсорбции производится при температуре не ниже 10°. Перед началом измерения должны быть приняты меры к ликвидации причин, вносящих погрешности в измерения (выводы очищены от грязи, пыли, устранена сырость).

При отсутствии мегомметра сопротивление изоляции можно измерить при помощи вольтметра постоянного тока с достаточно высоким (не менее 500 *ом* на 1 *в*) внутренним сопротивлением $R_в$, которое должно быть известно. Для таких измерений необходимо иметь источник постоянного тока напряжением 110—220 *в*. Для измерения сопротивления изоляции вольтметр

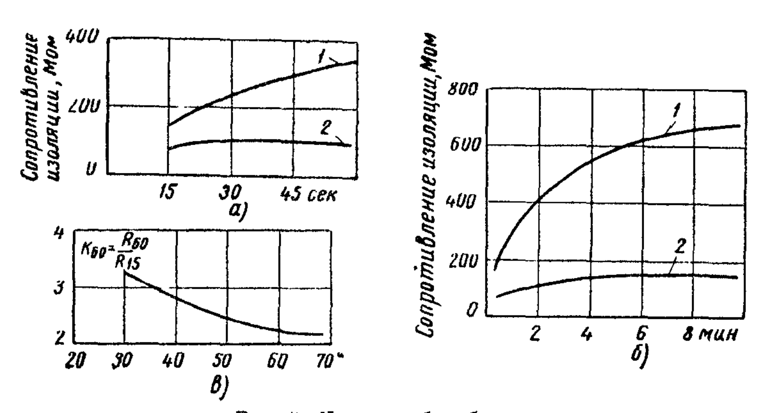


Рис. 2. Кривые абсорбции:

а — снятые в течение 60 *сек*; *б* — снятые в течение 10 *мин*: *1* — сухая изоляция, *2* — влажная изоляция; *в* — зависимость коэффициента K_{60} от температуры машины

включают один раз непосредственно на зажимы источника напряжения, а второй раз — к тем же зажимам, однако через сопротивление изоляции, подлежащее измерению, т. е. в цепь

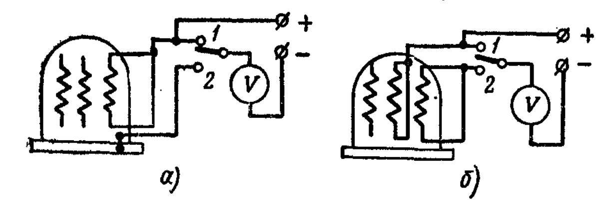


Рис. 3. Схема измерения сопротивления изоляции обмоток статора при помощи вольтметра:

а — по отношению к корпусу, *б* — между фазами

вольтметра включают конец обмотки, сопротивление изоляции которой относительно корпуса хотят измерить, и корпус. Измерение сопротивления изоляции обмотки статора по отношению к корпусу производится по схеме рис. 3, *а*, а сопротивление изоляции между фазами — по схеме рис. 3, *б*. Измеряемая величина сопротивления изоляции подсчитывается по формуле

$$R_{изм} = R_в\left(\frac{U_1}{U_3} - 1\right)\cdot 10^{-6}\ Мом,$$

где $R_в$ — внутреннее сопротивление вольтметра постоянного тока по паспорту, *ом*;

U_1 — показание вольтметра, когда переключатель находится в положении *1*;

U_2 — показание вольтметра, когда переключатель находится в положении *2*.

Для получения более верных результатов сопротивление вольтметра должно быть как можно большим (порядка 50—100 *ком*). Результат испытания считается удовлетворительным, если величина изоляции относительно корпуса или между фазами не ниже допустимых норм.

Пример. $U_1=220$ *в*, $U_2=20$ *в*, $R_в=100\,000$ *ом*. Сопротивление изоляции $R_{изм}=100\,000\left(\frac{220}{20}-1\right)=1\,000\,000$ *ом*, т. е. 1 *Мом*.

На электростанциях у работающих генераторов (синхронных компенсаторов) величину сопротивления изоляции всей цепи возбуждения, включая возбудитель, кабели и прочее, обычно проверяют вольтметром методом трех последовательных измерений. Измеряют напряжение между контактными кольцами ротора (U) (или между разноименными траверсами коллектора возбудителя) и между каждым контактным кольцом ротора и валом ротора генератора — U_1 и U_2. По этим данным и по величине внутреннего сопротивления вольтметра постоянного тока ($R_в$) подсчитывают сопротивление изоляции всей цепи возбуждения $R_{изм}$ в рабочих условиях машины:

$$R_{изм}=R_в\left(\frac{U}{U_1+U_2}-1\right)\cdot 10^{-6}\ Мом.$$

Для того чтобы показания прибора были четко видны, следует выбирать его с большим внутренним сопротивлением, во всяком случае не ниже 50 *ком*.

Необходимо также иметь ввиду, что этим методом нельзя обнаружить, в каком элементе цепи — в роторе, статоре, якоре или обмотке возбуждения возбудителя произошло ослабление изоляции; поэтому, если измерения покажут неблагоприятные результаты, генератор (синхронный компенсатор) переводят на работу от резервного возбудителя. Если же и в этом случае изоляция не восстановится, то генератор (синхронный компенсатор) останавливают и изоляцию каждого элемента цепи проверяют мегомметром.

Вольтметром измеряется также сопротивление изоляции подшипников относительно фундаментной плиты после полного окончания монтажа машины и маслопроводов (см. гл. 3, § 4).

Измерение угла диэлектрических потерь. В изоляции, находящейся под воздействием переменного на-

пряжения, происходит поглощение некоторого количества электроэнергии, которая превращается в тепло. Поглощаемая в единицу времени энергия (мощность) определяет собой диэлектрические потери в изоляции. Если бы диэлектрических потерь не было, угол сдвига фаз между напряжением на изоляции и током, проходящим через изоляцию, был бы точно равен 90°. В изоляции, выполненной из любых практически применяемых материалов, при наличии диэлектрических потерь угол сдвига фаз между напряжением и током меньше 90°; разность между углом 90° и углом сдвига фаз обозначается δ и называется углом диэлектрических потерь или сокращенно — углом потерь.

В случае приложения к изоляции переменного напряжения, процесс зарядки емкостей и протекания тока через сопротивления схемы повторяется каждый период. Величина установившегося тока I будет определяться двумя составляющими:

I_2 — активной составляющей тока, зависящей от величины сопротивления изоляции;

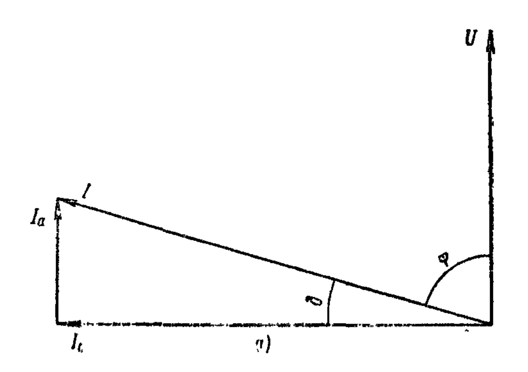
I_c — реактивной составляющей, зависящей от геометрической емкости, которые изображены на рис. 4, *а*.

Так как токи через изоляцию зависят не только от свойств изоляции, но и от размеров оборудования, то по величине активной составляющей еще нельзя судить о качестве изоляции. Показателем качества изоляции является отношение активной составляющей к реактивной. Это отношение, как можно видеть из рис. 4, *а*, равно $\mathrm{tg}\delta$.

Таким образом, тангенс угла диэлектрических потерь может явиться важным показателем состояния изоляции, во-первых, для проверки надежности ее по отношению к тепловому пробою (тепловая устойчивость) и, во-вторых, для проверки общего старения или увлажнения изоляции. Угол диэлектрических потерь изоляции меняется в зависимости от состояния изоляции. Если изоляция отсырела или в ней появились посторонние включения, то $\mathrm{tg}\delta$ резко увеличивается.

На практике обычно принято $\mathrm{tg}\delta$ измерять в процентах, т. е. значение, полученное из предыдущей формулы, умножается на 100; $\mathrm{tg}\delta$ показывает, сколько процентов составляет активная составляющая тока по отношению к емкостной. Чем ниже этот процент, тем лучше качество изоляции. Угол диэлектрических потерь у крупных объектов позволяет судить только о среднем состоянии изоляции, так как местный дефект не может сколько-нибудь существенно изменить соотношения активной и реактивной составляющих при их значительных размерах. У объектов с малыми геометрическими размерами по величине $\mathrm{tg}\delta$ может быть обнаружен и местный дефект.

Для диэлектрических машин измерение $\mathrm{tg}\delta$, как показывает опыт, не дает должных результатов. Ввиду их большой емкости



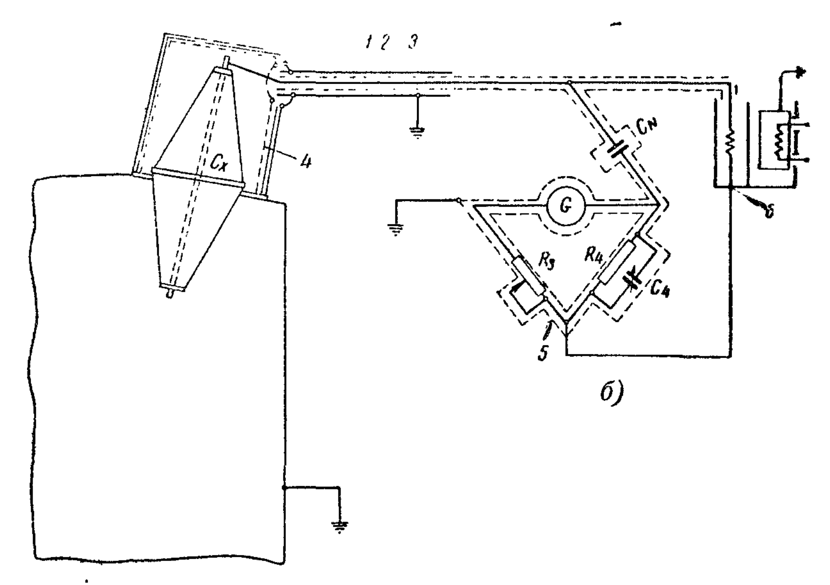


Рис. 4. Испытания для определения угла диэлектрических потерь (tg δ):
а — векторная диаграмма токов в изоляции при испытании ее переменным напряжением;
б — принципиальная схема измерения угла диэлектрических потерь при помощи моста МД-16:

1 — провод, соединяющий мост с вводом; *2, 3, 4* — защитные экраны, *5* — измерительный мост, *6* — высоковольтный трансформатор

этим методом нельзя обнаружить местных дефектов в изоляции генераторов и трудно судить о среднем состоянии изоляции вообще.

Для трансформаторов метод измерения tgδ дает лучшие результаты при оценке состояния увлажнения обмоток трансформатора.

Диэлектрические потери энергии в ваттах на участке изоляции с емкостью C и углом потерь δ при напряжении на изоляции U и частоте f составляют:

$$P = U \cdot I_a = U \cdot I \cdot \cos\varphi = U^2 \cdot 2\pi \cdot f \cdot C \cdot \mathrm{tg}\,\delta = U^2 \omega C \cdot \mathrm{tg}\,\delta,$$

откуда

$$\mathrm{tg}\,\delta = \frac{P}{w \cdot C \cdot U^2},$$

где C — емкость измеряемого объекта;

P — диэлектрические потери мощности, *вт*;

ω — угловая частота;

I_a — активная составляющая тока.

Из формулы видно, что потери P в диэлектрике пропорциональны углу диэлектрических потерь tgδ. Чем больше tgδ, тем при прочих равных условиях больше диэлектрические потери, т. е. качество диэлектрика хуже.

Методом диэлектрических потерь проверяется также изоляция проходных изоляторов, вводов и обмоток конденсаторов, трансформаторов, вращающихся машин, трансформаторов тока, а также изоляция длинных кабелей и другой изоляции, кроме чисто фарфоровой. Измерения диэлектрических потерь широко применяются в лабораторных условиях и ремонтных мастерских для проверки изоляции после ремонта, а также для контроля диэлектрических потерь масел и заливочных масс.

Диэлектрические потери изоляторов рекомендуется измерять в интервале температур от +10 до +40°, так как в этом интервале tgδ мало зависит от температуры и для многих типов изоляторов оказывается возможным не делать поправок на температуру.

При измерениях диэлектрических потерь необходимо учитывать наличие электрических влияний, поверхностных загрязнений и увлажнений оборудования (особенно в сырую или туманную погоду), а также, что корпуса оборудования, оболочки кабелей (свинцовая или алюминиевая) и т. п., как правило, наглухо заземлены. Последнее приводит к необходимости применения мостов переменного тока с «перевернутой» схемой.

Для измерения угла диэлектрических потерь могут применяться мосты переменного тока и ваттметровые схемы измерения. На рис. 4, *б* приведена принципиальная схема измерения

угла диэлектрических потерь при помощи так называемой «перевернутой» схемы высоковольтного емкостного моста МД-16. Эта схема дает возможность производить испытание без снятия вводов оборудования. При равновесии моста имеют место следующие соотношения:

$$C_x = C_N \cdot \frac{R_4}{R_3} = C_N \cdot \frac{3184}{R_3} \text{ мкф},$$

где

$$R_4 = \frac{10\,000}{\pi} = 3184 \text{ ом};$$

$$\operatorname{tg}\delta = \omega \cdot R_4 \cdot C_4 \cdot 10^{-6} = 2\pi \cdot f \cdot R_4 \cdot C_4 \cdot 10^{-6} =$$

$$= 100\pi \frac{10\,000}{\pi} C_4 \cdot 10^{-6} = C_4 \text{ мкф};$$

$$f = 50 \text{ гц}.$$

Измеренная таким путем величина $\operatorname{tg}\delta$ равна численному значению C_4 *мкф.*

Величину тангенса угла потерь в процентах определяют по формуле

$$\operatorname{tg}\delta = 100 \cdot C_4 \%.$$

Испытание изоляции повышенным напряжением. Целью испытания изоляции повышенным напряжением является проверка наличия необходимого запаса ее электрической прочности, способного обеспечить безаварийную работу электрооборудования и заблаговременно выявить и установить неисправность.

Испытание повышенным напряжением производится как переменным током промышленной частоты, так и выпрямленным током высокого напряжения.

Испытание изоляции повышенным напряжением переменного тока. Величина испытательного напряжения определяется по ГОСТ 1516—60, исходя из опыта эксплуатации, учета возможных внутренних перенапряжений в действующих электроустановках и защитных характеристик разрядников от атмосферных перенапряжений. Для возможности наблюдения за результатами испытания, а также и для того, чтобы начавшийся пробой мог завершиться и тем самым мог быть выявлен дефект в изоляции, испытательное напряжение должно быть приложено в течение 1 *мин.* Более длительное испытание может привести к повреждению изоляции из-за теплового пробоя даже при отсутствии дефектов в изоляции. Исключение составляют такие изоляционные органические материалы, как бакелит, дерево, кабельная бумага и т. п., в которых основную роль играет поверхностная изоляция. Так как в этих материалах обычно не контролируются диэлектри-

ческие потери, то время приложения выс ого напряжения при испытаниях принято по ГОСТ 5 *мин* с тем, чтобы после окончания испытания и снятия напряжения можно было проверить на ощупь, нет ли местных нагревов. Пробивное напряжение изоляции аппаратов, трансформаторов и изоляторов выбирается выше разрядного напряжения по воздуху которое в свою очередь выше испытательного напряжения, принятого на заводе-изготовителе для новых изоляторов, аппаратов и трансформаторов.

С течением времени прочность изоляции в эксплуатации может понижаться, но она не должна быть ниже установленного минимума. Изоляция считается выдержавшей испытание на электрическую прочность, если при этом не было пробоя, частичных разрядов, выделений газа или дыма, а также, если приборы не указывали на наличие повреждений.

Пробой изоляции при испытании отмечается по амперметру — по возрастанию тока и по вольтметру — по снижению напряжения.

Чтобы не повредить частичными разрядами изоляцию, следует при их возникновении прекратить испытание высоким напряжением до устранения дефекта и ремонта изоляции.

Испытательное напряжение должно прикладываться:

а) между токоведущими и заземленными частями (для коммутационных аппаратов при включенном и отключенном положениях);

б) между токоведущими частями соседних полюсов (для коммутационных аппаратов при включенном и отключенном положениях);

в) между разомкнутыми контактами одного и того же полюса при отключенном положении аппарата.

Испытание изоляции высоким напряжением постоянного (выпрямленного) тока. Данное испытание применяется для оборудования с большой емкостью (кабели, конденсаторы, генераторы, электродвигатели и пр.), для испытания которых переменным током необходимы испытательные трансформаторы большой мощности. Поэтому кабельные линии уже довольно давно испытывают постоянным (выпрямленным) напряжением, что вполне себя оправдало.

Накопленный за последние годы опыт испытания генераторов и электродвигателей показывает, что испытания переменным током выявляют большинство дефектов в пазовой части изоляции, а испытания выпрямленным напряжением — в основном в лобовой части и при выходе из паза.

Для испытания изоляции выпрямленным напряжением применяются кенотронные аппараты.

Преимуществом испытания изоляции выпрямленным напря-

жением является возможность вести контроль за состоянием ее изоляции путем измерения токов утечки.

Измерение токов утечки на выпрямленном напряжении. Сопротивление изоляции, как было сказано выше, измеряют мегомметром, позволяющим отсчитывать по шкале прибора показания в мегомах при приложении напряжения к изоляции от 500 до 2500 *в*. Однако некоторые дефекты при таких величинах прикладываемого к изоляции напряжения не выявляются. Для выявления таких дефектов измеряют токи утечки с помощью кенотронных аппаратов. По измеренным при

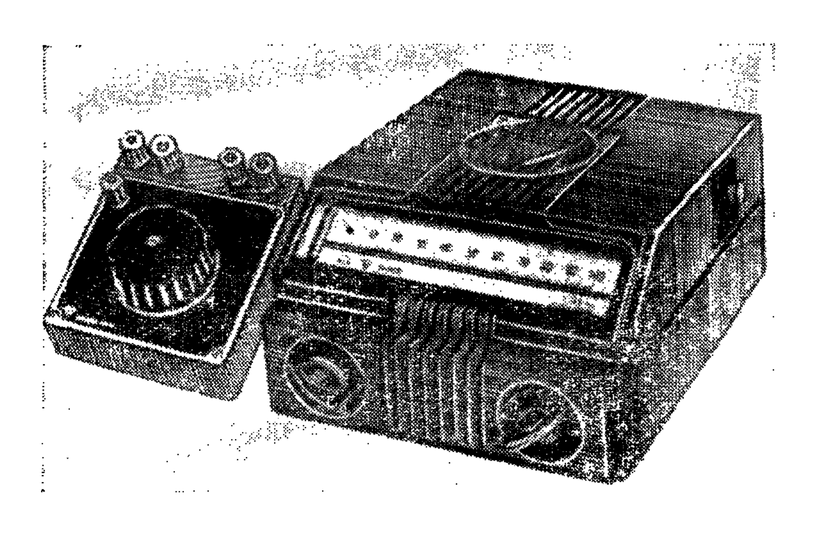


Рис. 5. Микроамперметр М-95 с комбинированным шунтом

помощи микроамперметра (рис. 5) токам утечки, протекающим при заданных величинах напряжения и времени отсчета, судят о состоянии сопротивления изоляции.

В исправной и сухой изоляции ток утечки по времени будет спадать, и тем быстрее, чем в лучшем состоянии находится изоляция. Если же ток утечки при определенном напряжении не только не спадает, но возрастает со временем, то это указывает на сильную степень развития дефекта, и в этом случае рекомендуется тщательно осмотреть обмотку (нет ли повреждения изоляции) и при необходимости подвергнуть изоляцию сушке, а затем повторному испытанию.

При исследовании тока утечки через изоляцию можно воспользоваться также методом измерения напряжения и времени саморазряда оборудования (электрической машины и др.), заряженного до определенного напряжения. При этом параллельно

испытуемому оборудованию присоединяется статический вольтметр или другой прибор, который может фиксировать напряжение разряда (шаровой разрядник, неоновая лампа с сопротивлением и т. п.). Время, за которое произойдет саморазряд изоляции до определенной величины, будет тем меньше, чем хуже изоляция и чем меньше ее емкость. Для оценки состояния изоляции по методу саморазряда необходимо знать опытные данные о времени саморазряда (до определенной величины напря-

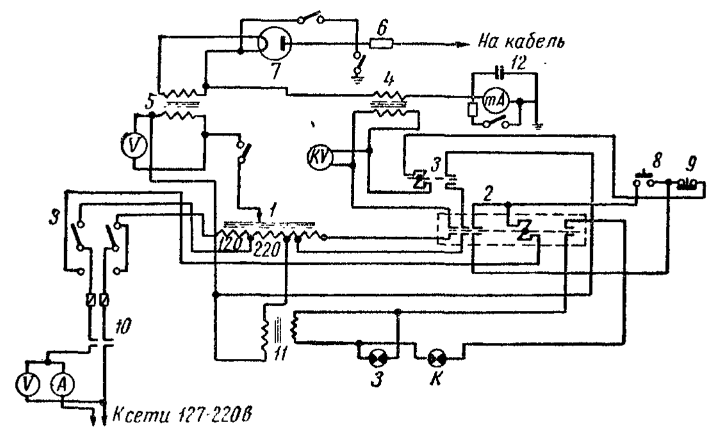


Рис. 6. Принципиальная схема кенотронной установки на автомашине:

1 — регулировочный автотрансформатор 1,5 *ква*, 0 ÷ 250 *в*; *2* — магнитный пускатель; *3* — автомат 15 *а*; *4* — испытательный трансформатор 2 *ква*, 42 500 *в*; *5* — трансформатор накала 0,4 *ква*; *6* — сопротивление 30 *ком*; *7* — кенотронная лампа; *8* — кнопка «Пуск»; *9* — кнопка «Стоп»; *10* — контакты блокировки; *11* — трансформатор 120/12 *в*; *12* — конденсатор

жения) испытуемого или аналогичного оборудования с исправной изоляцией. Токи утечки не нормируются, а сопоставляются с результатами предыдущих испытаний. Обычно для измерения токов утечки в кабельных сетях применяют кенотронные установки, смонтированные на автомашине. На рис. 6 показана принципиальная схема такой установки.

§ 4. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Метод термометра. Измерение температуры этим методом производится термометрами расширения (ртутные, спиртовые), термометрами сопротивления и термопарами. Термометры прикладываются к доступным поверхностям в собранной электрической машине и они показывают температуру поверхности в точке их приложения. В тех местах электрической ма-

шины, где имеются переменные магнитные поля, следует применять спиртовые, а не ртутные термометры, так как в них будут наводиться вихревые токи, нагревающие ртуть, что может исказить показания ртутных термометров.

Метод сопротивления. Этот метод применяют для определения температуры обмотки по возрастанию ее сопротивления при постоянном токе относительно сопротивления, измеренного при практически холодном состоянии обмотки. Метод сопротивления дает среднее значение температуры обмотки.

Превышение температуры T обмотки над температурой охлаждающей среды определяют по формуле

$$T = \frac{R_г - R_х}{R_х}(K + \vartheta_х) + \vartheta_х - \vartheta_о,$$

где $R_г$ — сопротивление обмотки в горячем (нагретом) состоянии, измеренное при опыте, *ом*;

$R_х$ — сопротивление обмотки в практически холодном состоянии, *ом*;

$\vartheta_х$ — температура обмотки в практически холодном состоянии, *град*;

$\vartheta_о$ — температура охлаждающей среды, *град*;

K — коэффициент для меди — 235, алюминия — 245.

Значительное распространение, в особенности при испытании крупных машин, получил метод сопротивления, основанный на том, что удельное сопротивление металлов возрастает примерно пропорционально росту температуры. Термометр сопротивления представляет собой в большинстве случаев медную проволоку с сопротивлением, обычно равным 53 *ом* при 0 *град*, намотанную на плоский или цилиндрический остов. Для других температур нагрева величины сопротивлений приведены в табл. 1. Измерителем служит специальный магнитоэлектрический прибор (логометр), градуированный в градусах Цельсия, устроенный так, что его отклонение пропорционально приращению сопротивления проволоки термометра при его нагревании. Схема измерения работает на постоянном токе от батареи (или сухого выпрямителя переменного тока) напряжением около 4 *в*. Для правильной работы схемы необходимо, чтобы сопротивления соединительных проводников от всех термометров к прибору были одинаковы и имели определенную величину, обычно принимаемую равной 5 *ом*, и чтобы поданное на прибор напряжение источника имело заданную величину. Так как в действительности сопротивления соединительных проводников могут быть различны, в цепь каждого термометра включается регулируемое сопротивление. Принципиальная схема измерения температуры термометрами сопротивления показана на рис. 7.

Для контроля температуры нагрева электрических машин, трансформаторов и другого электрооборудования в них закла-

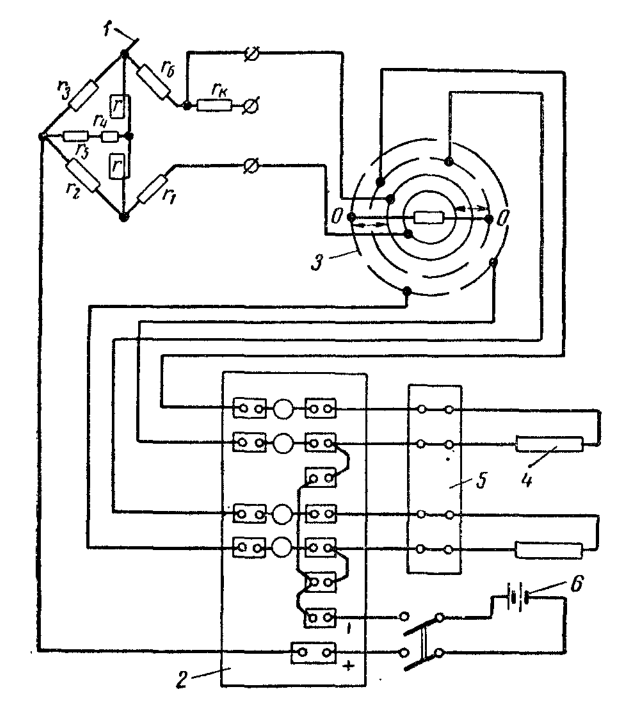


Рис. 7. Принципиальная схема измерения температуры термометрами сопротивления:

1 — логометр ЛПР-53, *2* — панель уравнительных катушек, *3* — переключатель ПМТ, *4* — термометр сопротивления, *5* — доска зажимов, *6* — аккумулятор 4*в*

дываются или встраиваются специальные термодетекторы (термометры сопротивления, термопары и др.).

Метод заложенных температурных детекторов. Метод заложенных температурных детекторов применяют для определения температуры обмоток или активной стали. В машину, в которой предполагают измерять температуру обмотки и активной стали, при ее изготовлении должно быть заложено не менее шести термодетекторов. Термодетекторы должны быть расположены равномерно по окружности электрической машины в таких точках обмотки (в осевом направлении пазов), в которых предполагается наибольшее повышение температуры. Каждый термодетектор должен непосредственно соприкасаться с поверхностью, температура которой подлежит измерению, и, кроме того, должен быть надежно защищен от воздействия охлаждающей среды. В зависимости от числа катушек или стержней в одном пазу детекторы (термосопротивления) должны быть расположены внутри паза между секциями в местах предполагаемых наибольших температур. Для измерения температуры стали сердечника детекторы (термосопротивления) закладываются на дно паза.

На рис. 8 показана схема расположения термодетекторов, выполненных в виде термопар. У генераторов, как правило, термодетекторы, предназначенные для измерения температуры обмотки статора генератора, закладываются между стержнями обмотки, а для измерения температуры активной стали — на дне паза.

Метод встраиваемых температурных детекторов. Встраиваемые в изготовленную машину температурные детекторы (термометры сопротивления или термопары) предназначены для производства испытания на нагревание. Термодетекторы закладываются в лобовые или в пазовые части обмотки статора машины или между отдельными листами активной стали на глубину не менее 5 *мм* и в таких доступных точках, в которых ожидается наибольшая температура.

Таблица 1

Зависимость сопротивления медной проволоки термометра от температуры нагрева

Температура, *град*	Сопротивление, *ом*
0	53,00
5	54,13
10	55,25
15	56,38
20	57,51
25	58,63
30	59,76
35	60,88
40	62,01
45	63,14
50	64,26
55	65,39
60	66,52
65	67,64
70	68,77
75	69,89
80	71,02

Термосопротивления конструктивно представляют собой прямоугольные пластины, внутри которых на бумажное основание намотан изолированный эмалью медный провод ПЭЛЖО диаметром 0,08 *мм*, с температурным коэффициентом линейного расширения $\alpha = (4{,}25 \pm 0{,}01) \cdot 10^{-3}$. Провод опрессован вместе с защитной лакированной бумагой. Сопротивление термосопро-

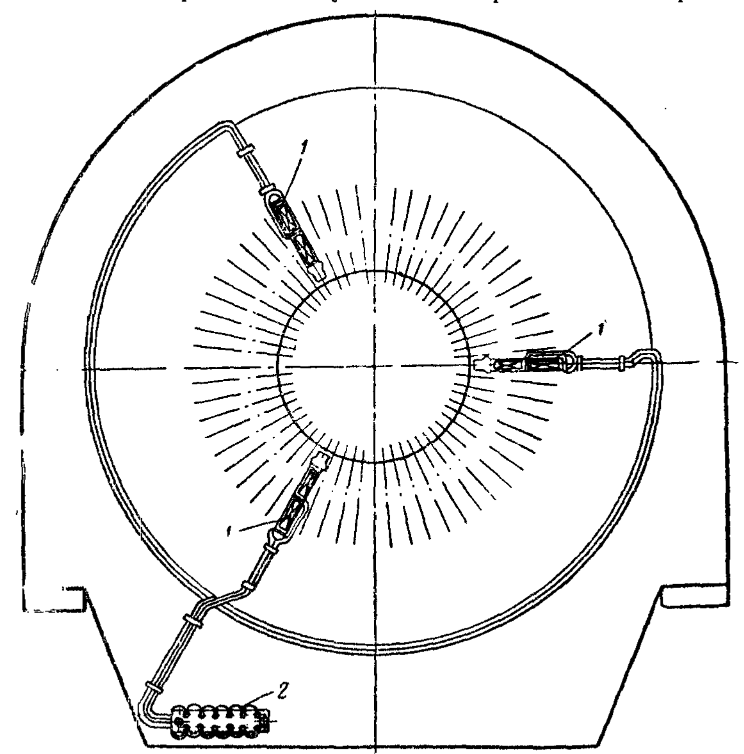


Рис. 8. Схема расположения термопар в турбогенераторе:
1 — термопары, *2* — доска зажимов

тивления при 0° равно $R_x = 53 \pm 0{,}05$ *ом*, а при температуре от 0 до 150° оно определяется по формуле $R_t = R_x \cdot (1 + \alpha t)$. Например, при температуре $t = 150°$ сопротивление равно:

$$R_{150} = 53{,}05\,(1 + 4{,}26 \cdot 10^{-3} \cdot 150) = 87 \text{ ом}.$$

Термопара выполнена из уложенных рядом двух изолированных разнородных металлических проводников. Например, медный и константановый диаметрами 0,5—1,0 *мм*, два конца которых спаиваются между собой (и укладываются в проверяемой точке), а два других — выводятся наружу и подводятся к зажимам гальванометра.

При нагревании или охлаждении мест спая в термопаре возникает электродвижущая сила (э. д. с.), которая измеряется гальванометром или милливольтметром. Сопротивление 1 *м* провода для термопары принимается равным 1,22 *ом*.

Зависимость э. д. с. медно-константановой термопары от разности температур ее концов приведена в табл. 2.

Гальванометр, к которому присоединены термопары, показывает не абсолютную температуру, а разность между температурой в измеряемой точке и температурой воздуха в месте установки гальванометра. Достоинством термопар является возможность установки их в трудно доступных местах машин, в том числе машин в закрытом исполнении.

Для измерения э. д. с. термопары наряду с гальванометром применяется также чувствительный милливольтметр постоянного тока. Желательно, чтобы он имел предел измерения 5—10 *мв* и по возможности большое сопротивление; милливольтметры с малым сопротивлением непригодны для этой цели. Чтобы перевести показания милливольтметра в градусы Цельсия, его следует проградуировать с теми термопарами, с которыми он будет применяться. Точно так же подлежат градуировке и гальванометры вместе с термопарами, с которыми они будут применяться в эксплуатации.

В отличие от термопары термосопротивление при правильно построенной схеме измеряет действительную (абсолютную) температуру того места, в которое оно заложено. Кроме того, в то время как всякий плохой контакт в цепи термопары вызывает уменьшение показания прибора, в цепи термосопротивления он вызывает увеличение показания.

Перед пуском электрической машины следует проверить целостность и величину сопротивления изоляции термодетекторов, заложенных в машины, и их цепей с помощью омметра или мегомметра на напряжение до 250 *в*, например типа М154 или М173.

Таблица 2

Зависимость э. д. с. медно-константановой термопары от разности температур ее концов

Температура, *град*	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Э. д. с., *мв*	0	0,42	0,84	1,25	1,68	2,08	2,52	2,98	3,45	3,89	4,36

При определении температуры по термопарам необходимо учитывать сопротивление цепи термопар. Температуру подсчитывают по формуле

$$T = C \cdot U \frac{R_г + R_т}{R_г} + t_х,$$

где C — постоянная гальванометра или милливольтметра, градус на милливольт;

U — показания гальванометра или милливольтметра, *мв*;

$R_г$ — внутреннее сопротивление гальванометра, *ом*;

$R_т$ — сопротивление цепи от термопары до гальванометра, *ом*;

$t_х$ — температура окружающего воздуха, *град*.

§ 5. ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ И СКОЛЬЖЕНИЯ

Измерение скорости вращения. Для измерения скорости вращения (числа оборотов в минуту) электрических машин применяют много различных способов. Самым распространенным и общеизвестным является измерение центробежным тахометром, который выполняется либо в виде ручного прибора, имеющего обычно несколько пределов измерений, либо в виде однопредельного прибора для постоянной установки на самой машине.

Преимуществом этого способа является быстрота измерений и возможность производить их как при неизменной, так и при изменяющейся скорости вращения. К недостаткам такого способа измерения можно отнести невысокую точность обычных тахометров и трудность их градуирования. Кроме того, тахометр не может применяться при испытании машин очень малой мощности. Несмотря на указанные недостатки данный способ измерения скорости вращения мелких электрических машин является основным.

Для выполнения различных измерений ручной тахометр обычно снабжается комплектом сменных наконечников различной формы и назначения, надеваемых на конец валика (рис. 9). Из этих наконечников самое широкое применение имеет резиновый конус, оправленный в металлический патрон.

Для измерения скорости вращения следует предварительно установить на тахометре необходимый предел измерения. Для этого тахометр имеет переключающее устройство для измерения в трех-четырех диапазонах, например 300—1200, 600—2400, 1000—4000 *об/мин*. Затем наконечник тахометра (чаще — резиновый конус) вставляют в коническое углубление в торце вала машины и держат его плотно обеими руками с небольшим нажимом так, чтобы ось валика тахометра совпадала с осью вала машины.

Тахометр не следует держать долго у вала, так как при продолжительном вращении механизм его будет очень скоро изнашиваться; точно также не следует сильно нажимать на тахометр или держать его под углом к оси вала. Нажим должен быть легким, но достаточным для приведения тахометра в действие. В случаях, когда необходимо измерить пониженные скорости вращения, в тахометре включают несколько ступеней зубчатых передач, в связи с чем его вращение становится затруднительным. Если трение резинового конуса будет все же недостаточно для приведения механизма тахометра в действие, то следует насухо протереть чистой сухой тряпкой как углубление в торце вала, так и наконечник или натереть то и другое сухим мелом. Однако, если эти меры не обеспечат необходимого трения наконечника, его заменяют другим наконечником в виде стальной трехгранной пирамиды. Но последним нельзя пользоваться при высоких скоростях вращения, так как возникает опасность прогиба валика тахометра или срыва зубчатых передач.

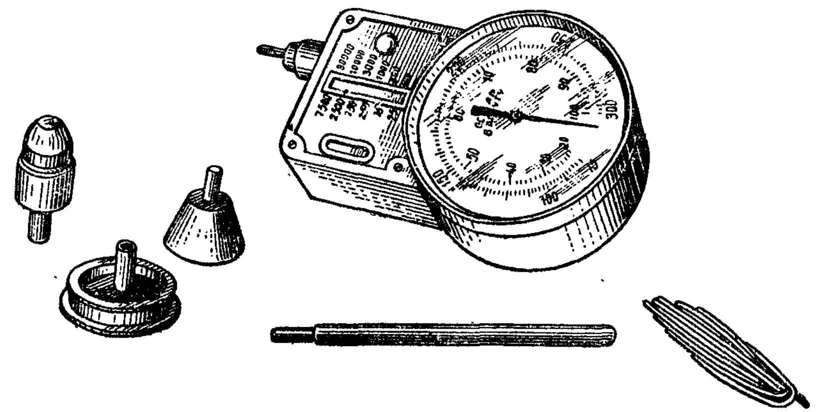


Рис. 9. Ручной тахометр с набором наконечников

При измерении скорости вращения машины показание тахометра прямо пропорционально отношению диаметров колеса насадки тахометра и вала машины. Так, например, если диаметр вращающегося вала равен 300 *мм*, диаметр колеса насадки тахометра — 31 *мм*, а тахометр делает 960 *об/мин*, то скорость вращения машины составит:

$$\frac{960 \cdot 31}{300} = 99{,}2 \text{ об/мин.}$$

На эту скорость и должен быть отградуирован тахометр для данной машины с учетом ее возможного увеличения при сбросе полной нагрузки.

Использование ручного тахометра для измерения скорости вращения электрических машин не всегда безопасно. В связи с этим в настоящее время широко применяются дистанционные тахометры, измеряющие скорость вращения машин на расстоянии.

Весьма удобен способ измерения скорости вращения при помощи тахометрического генератора постоянного тока, особенно, когда скорость вращения машины изменяется в очень широких пределах.

Тахометрический генератор — небольшая машина постоянного тока с постоянными магнитами, насаженная на один вал

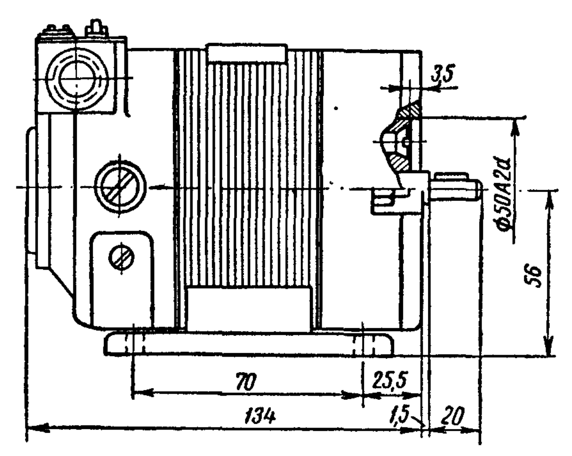


Рис. 10. Общий вид и габаритные размеры тахометрического генератора

с испытуемой машиной или сопряженная с ней посредством зубчатой или цепной передачи. Возбуждение генератора может осуществляться либо от постороннего источника, либо при помощи постоянных магнитов. В последнем случае постоянство рабочего потока регулируется посредством магнитных шунтов.

Настоящий способ измерения весьма точен при условии, что вольтметр хорошо проградуирован на обороты в минуту, для чего достаточно одной проверочной точки, при которой скорость вращения измеряется каким-либо другим способом.

Большим недостатком тахометрических генераторов постоянного тока является наличие коллектора и щеток. Непостоянство переходного сопротивления щеточного контакта ведет к нестабильности в показаниях тахометрического генератора. Тахометрические генераторы постоянного тока при скоростях, близких к нулю, имеют зону нечувствительности. Общий вид тахометрического генератора показан на рис. 10.

В качестве тахометрического генератора с независимой обмоткой возбуждения в мощных автоматизированных приводах могут использоваться нормальные генераторы постоянного тока с параллельным возбуждением, например генераторы нормальной серии самых малых габаритов — ПН-5 или ПН-10. При этом обмотку параллельного возбуждения следует включать, как независимую обмотку.

Для использования тахометрического генератора необходимо присоединить к нему вольтметр постоянного тока и проградуировать его на скорость вращения по какому-нибудь другому прибору, например по тахометру или вибрационному частотомеру. Так как электродвижущая сила в якоре генератора при неизменном намагничивании его полюсов будет строго пропорциональна скорости вращения, то градуировку достаточно произвести при каком-нибудь одном значении.

Так, например, если тахометрический генератор при скорости вращения 1400 *об/мин* дает напряжение 87,6 *в*, то скорость вращения машины, к которой пристроен тахометрический генератор, напряжение которого равно 70 *в* и пропорционально его скорости вращения, будет равна:

$$1400 \cdot \frac{70}{87{,}6} = 1120 \text{ об/мин}.$$

Принцип действия частотомера состоит в том, что с испытуемой машиной сопрягается небольшой генератор первичного тока, напряжение которого подается на частотомер. При частоте f и числе пар полюсов генератора p скорость вращения машины определится по формуле $n = \frac{60 \cdot f}{p}$ *об/мин*.

Применяется также рассмотренный ниже (см. стр. 39) стробоскопический способ измерения скорости вращения.

Измерение скольжения способом амперметра постоянного тока. Этот способ возможен только при испытании двигателя с фазным ротором и постоянно наложенными на контактные кольца щетками. Он состоит в том, что в одну из фаз цепи ротора непосредственно или с помощью шунта вводится магнитоэлектрический амперметр. Амперметр должен быть выбран соответственно ожидаемой амплитуде тока в обмотке ротора. Желательно, чтобы амперметр имел нуль в середине шкалы. Так как в пределах нагрузки до номинальной частота тока в роторе f_2 не велика, то стрелка амперметра может следить за изменениями тока, совершая колебания с той же частотой f_2. Если за время T секунд стрелка амперметра сделает N полных колебаний, то частота их будет равна:

$$f_2 = \frac{N}{T} \text{ гц}.$$

С другой стороны, между частотой f_2 и скольжением существует зависимость $f_2 = S \cdot f_1$, откуда

$$S = \frac{f_2}{f_1} \cdot 100\% = \frac{N}{f_1 T} \cdot 100\%.$$

Например, при частоте f_1, равной 50 *гц*, скольжение будет равно:

$$S = \frac{2N}{T}\%.$$

В практике измерения обычно ограничиваются отсчетом $N = 20$ полных колебаний (20 периодов тока ротора — при частоте 50 *гц*) и тогда скольжение будет равно:

$$S = \frac{40}{T}\%.$$

Недостаток этого способа заключается в том, что амплитуда отклонения стрелки прибора зависит от величины тока.

Измерение скольжения способом индукционной катушки. Этот способ одинаково пригоден для измерения скольжения асинхронных двигателей всех типов и основан на том, что вследствие некоторой несимметрии ротора, часть его магнитного потока рассеяния, обычно очень небольшая, замыкается по воздуху через вал, подшипники и станину. Таким образом, в пространстве около конца вала создается поле, изменяющееся во времени с частотой f_2.

Измерение скольжения в этом поле производят при помощи прибора, представляющего собой катушку, состоящую обычно из 2000—3000 витков, намотанных проводником небольшого сечения (диаметром порядка 0,3—0,5 *мм*), внутри которой помещают сердечник из листовой стали; концы катушки выводят на магнитоэлектрический гальванометр с нулем посередине.

При измерении скольжения катушку помещают на ближайшем расстоянии от конца вала так, чтобы влияние поля рассеяния ротора было выражено достаточно заметно. Под действием наведенного в катушке тока, имеющего частоту скольжения f_2, стрелка гальванометра начинает колебаться в обе стороны от нуля, при чем одному периоду тока в роторе соответствует одно полное колебание стрелки гальванометра. Сосчитав число N таких колебаний за время T, мы можем определить скольжение по формуле

$$S = \frac{N}{f_1 \cdot T}\, 100\%.$$

Для большой точности отсчет времени необходимо вести по секундомеру и для каждой нагрузки желательно повторить измерение скольжения два-три раза, чтобы затем взять его среднее значение.

Данный способ обладает теми же недостатками, что и предыдущий.

Стробоскопический способ измерения скольжения. Этот способ состоит в том, что на торец вала испытываемого двигателя (рис. 11, *а*) насаживают диск *6*, разделенный на чередующиеся черные и белые секторы (рис. 11, *б*). Число секторов одного из цветов рекомендуется выбирать равным числу пар полюсов *p* машины; диск освещают светом неоновой лампы *1* с электродами *2* и *3*, присоединенной к сети, пи-

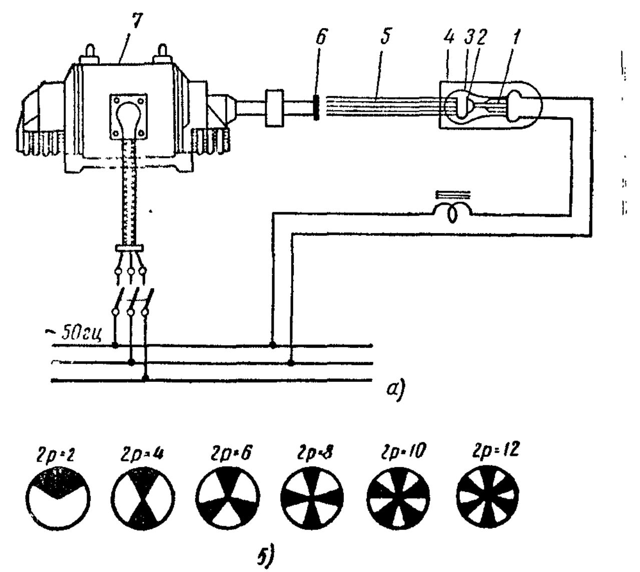


Рис. 11. Схема стробоскопического измерения скольжения:

а — схема включения неоновой лампочки для определения величины скольжения, *б* — диски с метками для различных чисел полюсов 2p

тающей двигатель. Неоновая лампа заключается в глухую, светонепроницаемую трубку *4* (металлическую или картонную) с одним открытым концом, через который исходит пучок света *5*, направленный на торец свободного конца вала испытываемого электродвигателя *7*. Конец вала в этом случае будет освещаться вспышкой неоновой лампы один раз в период.

Если ротор электродвигателя *7* будет вращаться с синхронной скоростью (например, 3000 *об/мин*), то по принципу стробоскопа диск *6* представлялся бы нам неподвижным; при отставании ротора относительно вращающегося магнитного поля мы наблюдаем вращение диска *6* в сторону, противоположную вращению ротора. Поворот диска *6* на одну пару секторов

(рис. 11, *б*) соответствует отставанию ротора от поля статора на двойное полюсное деление, т. е. одному периоду тока в роторе. Сосчитав число двойных секторов, прошедших за время T мимо фиксированной в пространстве неподвижной точки (метки), например стрелки, укрепленной на подшипнике, получим:

$$f_2 = \frac{N}{T} \ \text{гц},$$

откуда скольжение

$$S = \frac{1}{f_1} \cdot \frac{N}{T} = \frac{N}{f_1 T} \cdot 100\%.$$

Таким образом, неоновая лампа в самом простейшем своем применении обеспечивает полную и наглядную возможность учета скольжения в любом заданном отрезке времени вне зависимости от колебаний нагрузки электродвигателя. Если свободный конец вала электродвигателя недоступен для наблюдения, то с одинаковым успехом и удобством можно воспользоваться любой вращающейся частью электродвигателя, доступной для наблюдения, например муфтой, шкивом, шейкой вала или другой частью рабочего механизма, если она вращается с одинаковой с ротором скоростью. Все сказанное будет верно только в том случае, если для этих целей будет применена нормальная неоновая лампа с двумя пятачковыми электродами, расположенными параллельно.

•Пример. Чему равна фактическая нагрузка электродвигателя с номинальной мощностью $P_{ном} = 5{,}5$ *квт* и рабочей скоростью вращения 1460 *об/мин,* если на экране шейки вала за 5,2 *сек* в свете неоновой лампы четыре раза пробежали тени (метки).

Фактическое скольжение, выраженное в *об/мин*, составит:

$$S_{раб} = \frac{4{,}60}{2 \cdot 5{,}2} = 23{,}1 \ \text{об/мин},$$

где 2 — число пар полюсов.

Скольжение по паспорту при номинальной нагрузке

$$S_{ном} = 1500 - 1460 = 40 \ \text{об/мин}.$$

Рабочая мощность электродвигателя на валу при данной нагрузке будет равна:

$$P_{раб.\,вал} = P_{ном} \frac{S_{раб}}{S_{ном}} = 5{,}5 \cdot \frac{23{,}1}{40} = 3{,}18 \ \text{квт}.$$

Таким образом, зная рабочее и номинальное скольжения, можно всегда определить фактическую загрузку асинхронного электродвигателя.

В данном случае необходимо предостеречь от одной часто встречающейся ошибки: счет проходящих меток следует начи-

нать не с момента пуска секундомера, а со следующего прохождения. Чтобы не ошибиться, необходимо поступить так: в момент пуска секундомера вслух произнести нуль, а затем начать счет прохождения меток — раз, два, три, ..., двадцать — и остановить секундомер.

Изложенное выше показывает, что стробоскопический способ измерения скорости вращения является наиболее простым и доступным. В настоящее время электропромышленность выпускает специальные стробоскопические приборы — стробостахометры или стробоскопы, служащие для измерения скольжения и скорости вращения электрических машин. С помощью этих приборов возможно также легко и удобно контролировать на вращающейся машине состояние коллектора, выявить места искрения щеток и т. д.

§ 6. ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕНИ И СВЯЗАННЫХ С НИМ ВЕЛИЧИН

При испытаниях электрических машин, аппаратов, релейной защиты приходится измерять промежутки времени. Продолжительность этих промежутков может быть самой различной — практически от миллисекунд до нескольких минут и часов. Точность измерения промежутков времени бывает различна, от миллисекунд до десятых долей секунд для малых промежутков и от нескольких минут и больше — для весьма больших промежутков.

Измеряют время часами различных конструкций. Большие промежутки времени от нескольких минут и выше измеряют обычными часами; желательно, чтобы эти часы имели секундную стрелку для более точного измерения относительно небольших промежутков. Для измерения малых промежутков времени от нескольких секунд до нескольких минут, начало и конец которых определены, предпочтительно пользоваться часами специального исполнения, т. е. секундомерами. В начале измерения секундомер пускают в ход, а в конце измерения его останавливают.

Для более точного измерения продолжительности действия (выражаемого секундами и долями секунды) различных электрических устройств применяют электрические секундомеры, структурная схема одного из которых представлена на рис. 12. Секундомер состоит из небольшого электродвигателя переменного тока *D*, который приводит в действие стрелочный механизм. Электродвигатель включают последовательно с несколькими добавочными сопротивлениями для применения в цепях с различными напряжениями (12, 110, 220 *в*). Секундомер пускается в ход в начале испытания включением электродвигателя, а при отключении он останавливается.

Для измерения времени включения и отключения механизмов воздушных выключателей и в других случаях в настоящее время применяется миллисекундомер ЭМС-54 (завода «Энергоприбор»). Отсчет показаний производится по шкале прибора непосредственно в миллисекундах. Прибор имеет пять пределов измерений (0—25; 0—50; 0—100; 0—250 и 0—500 *м сек*). Основная погрешность измерения не превышает +5% максимального значения данного предела измерения. Основными элементами миллисекундомера ЭМС-54 являются измерительная схема, катодный вольтметр и блок питания, состоящий из двух выпрямителей, питающих раздельно измерительную схему и катодный вольтметр. Принципиальная схема миллисекундомера показана на рис. 13, *а*. Принцип работы прибора основан на заряде кон-

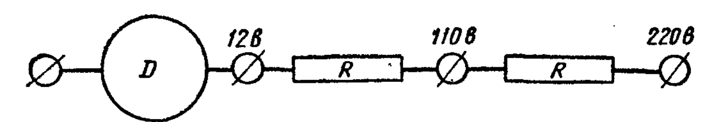


Рис. 12. Структурная схема электросекундомера ПВ-52

денсатора током неизменной величины. Напряжение на конденсаторе C при неизменяющемся токе заряда прямо пропорционально времени протекания зарядного тока:

$$U = \frac{i \cdot t}{C} = kt.$$

Если величина тока i и емкость конденсатора C неизвестны, то напряжение на конденсаторе, измеренное катодным вольтметром постоянного тока, пропорционально времени протекания этого тока. Так, например, если зарядный ток включить одновременно с подачей напряжения на соленоид отключения испытываемого выключателя, а затем отключить этот ток контактами гасительной камеры выключателя, то время, в течение которого протекал зарядный ток, будет равно собственному времени отключения испытываемого выключателя.

На рис. 13, *б* показана передняя панель управления миллисекундомера. Для управления испытываемым выключателем может быть использован пусковой ключ K_3. Неодновременность замыкания двух пар контактов ключа K_3 составляет примерно 0,002 *сек*.

Питание прибора осуществляется переменным током от сети 110/127/220 *в*.

Миллисекундомером ЭМС-54 можно, например на воздушных выключателях, измерять следующие величины:

а) собственное время отключения воздушного выключателя, т. е. время от момента подачи электрического импульса на соле-

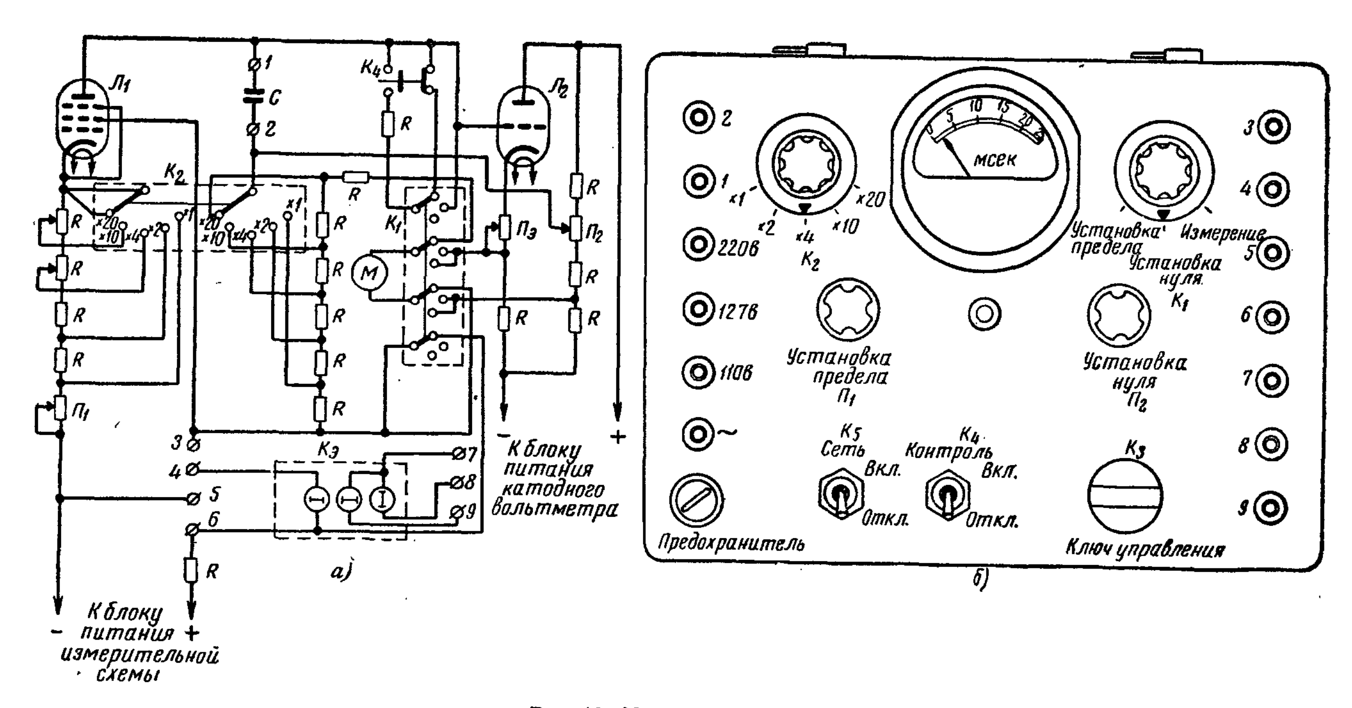


Рис. 13. Миллисекундомер:

а — принципиальная схема (без блоков питания); *М* — микроамперметр, K_1 — переключатель микроамперметра, K_2 — переключатель установки пределов измерений, K_3 — пусковой ключ внешних цепей, K_4 — переключатель катодного вольтметра, $П_1$ — регулятор установки предела измерения, $П_2$ — регулятор установки нуля микроамперметра, $П_3$ — регулятор чувствительности катодного вольтметра, *С* — конденсатор, *R* — сопротивление, $Л_1$, $Л_2$ — радиолампы, *1—9* — выводные зажимы; *б* — передняя панель управления миллисекундомера

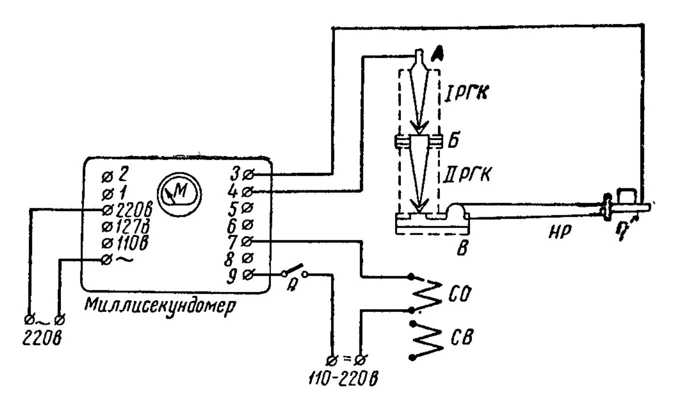


Рис. 14. Схема измерения собственного временн отключения воздушного выключателя:

Р — рубильиик, *IРГК* — первый разрыв гасительиой камеры, *IIРГК* — второй разрыв гасительиой камеры, *НР* — иож разъединнтеля выключателя, *А* — аппаратиый вывод гасительной камеры, *Б* — фланец гасительиой камеры, *В* — привод ножа разъедиинтеля, *Г* — аппаратный вывод неподвижиого контакта разъеднннтеля, *СО* — солеиоид отключения, *СВ* — солеиоид включения

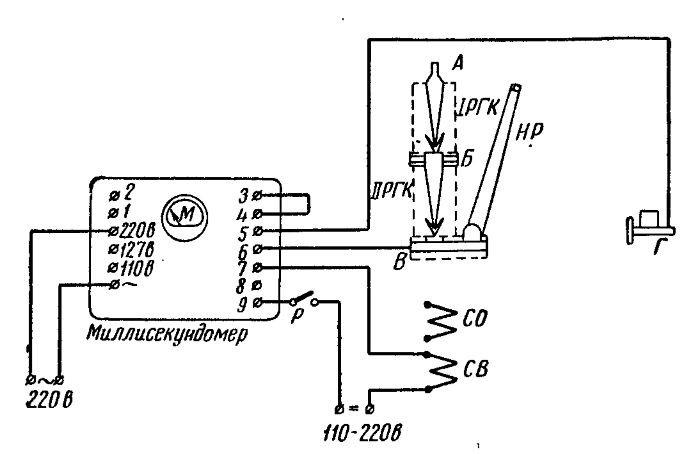


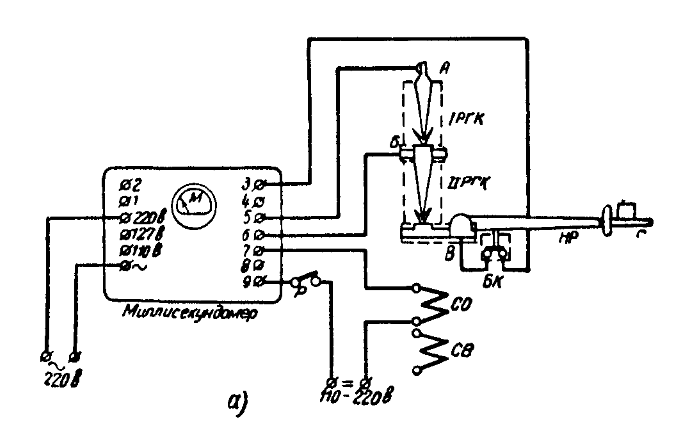
Рис. 15. Схема измерения времени включення воздушного выключателя

ноид отключения воздушного выключателя до момента начала размыкания контактов гасительной камеры выключателя (рис. 14);

б) время включения выключателя, т. е. время от момента подачи электрического импульса на соленоид включения воздушного выключателя до момента включения выключателя (рис. 15);

в) неодновременность размыкания контактов гасительной камеры (рис. 16, *а*, *б*);

г) время запаздывания ножа разъединителя при отключении воздушного выключателя.



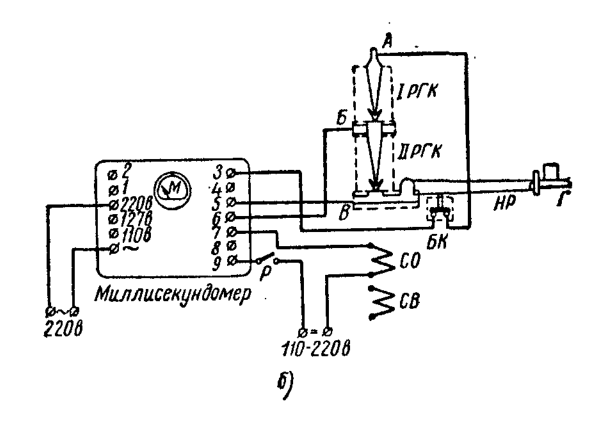


Рис. 16. Схема измерения неодновременности размыкания контактов:

а — контакт первого разрыва гасительной камеры размыкается раньше контакта второго разрыва, *б* — контакт второго разрыва гасительной камеры размыкается раньше контакта первого разрыва

§ 7. ИЗМЕРЕНИЕ ВИБРАЦИИ

Вращающиеся части электрических машин вследствие различных неточностей изготовления почти всегда имеют более или менее значительную неуравновешенность. В результате этой неуравновешенности и дефектов монтажа при вращении возникает вибрация, передающаяся подшипникам, а через них и прочим частям машины. Для уменьшения вибрации вращающейся части последняя подвергается так называемой балансировке. Однако, как бы тщательно не производилась эта балансировка, полностью устранить вибрацию не удается. Можно лишь добиться того, чтобы вибрация не превосходила безопасных для машин пределов. Ниже вкратце даются общие определения вибрации, причины ее вызывающие, а также существующие способы измерения вибраций.

Наибольшее отклонение точки от среднего положения называется амплитудой колебания, а расстояние между двумя крайними положениями этой точки — размахом колебания. Время, за которое точка совершает полный колебательный цикл, называется периодом колебания.

Колебания, имеющие сравнительно небольшую амплитуду и высокую частоту, называются вибрациями.

Вибрация вызывает нарушения механических соединений в машине, перегрев подшипников, искрение на коллекторе и контактных кольцах. Значительные вибрации могут вызвать задевание вращающихся частей и в некоторых случаях явиться причиной крупных аварий. Вибрации могут быть вызваны самыми разнообразными причинами электромагнитного и механического характера.

Основной причиной вибрации электромагнитного характера являются короткие замыкания в обмотках, создающие асимметрию магнитной системы машины. Например, при коротком замыкании витков в обмотке фазного ротора, обрыве в стержнях ротора короткозамкнутого асинхронного двигателя взаимное притяжение ротора и статора становится неравномерным; при вращении точка наибольшего притяжения будет все время перемещаться по окружности, вызывая вибрацию. При деформации или биении ротора зазор между ротором и статором все время меняется, что также создает магнитную асимметрию и связанные с этим вибрации. К другим причинам вибрации электромагнитного характера, создающим магнитную асимметрию, следует отнести обрывы короткозамыкающих колец и в пусковых обмотках роторов асинхронных и синхронных электродвигателей.

Неуравновешенность вращающихся частей (ротора, муфты, маховика, шкива) может явиться следствием наличия раковин в литых частях, неоднородности материала, несимметричного

распределения вращающихся масс, смещения обмотки ротора вследствие ее недостаточной опрессовки или слабой бандажировки, ослабления роторной обмотки вследствие усыхания изоляции (полюсы синхронных машин) и т. д.

Иногда вибрации передаются электрическим машинам от приводимых ими во вращение механизмов (дробилок, прокатных станов и т. д.).

При эксплуатации машин появляются и другие причины неуравновешенности; так, например, с течением времени под влиянием толчков, чрезмерной скорости вращения, ослабления бандажей обмотка может переместиться. При плохой выверке валов соединенных машин получаются усилия, изгибающие валы. Направление этих усилий при вращении машины все время меняется, вызывая вибрацию.

При слишком большом зазоре в подшипнике вал приподнимается масляным клином больше нормального и вследствие незначительного изменения вязкости масла и давления в масляном клине снова опускается, вызывая периодические колебания.

Слишком низкая температура входящего масла (в машинах с принудительной смазкой) и при нормальном зазоре в подшипнике в связи с изменением вязкости масла также может служить причиной появления вибрации. Температура поступающего в подшипник масла должна быть в пределах 35—40°.

Если вибрации являются следствием резонансного явления (совпадения скорости вращения с собственным числом колебаний фундамента), то единственно радикальным способом устранения вибрации является увеличение веса фундамента.

Кроме того, наиболее часто встречаются следующие причины вибрации машин: неточная выверка машины на фундаменте; задевание вала за маслоуплотняющие лабиринты; неисправность соединительной муфты (кулачковая или пальцевая муфта работает не всеми кулачками или пальцами); овальность шеек вала и искривление вала; неравномерная осадка или недостаточная жесткость фундамента.

Выявление причины вибрации производится путем последовательного исключения отдельных причин, подробным обследованием всего агрегата и измерением вибраций. В некоторых сложных случаях делается пробная балансировка.

Для того чтобы установить, является ли вибрация следствием магнитной асимметрии или вызвана другими причинами, машину пускают в ход и, быстро отключив от сети, когда ее скорость вращения практически еще не успела снизиться, наблюдают за вибрацией. Если немедленно при отключении машины или же снятии возбуждения вибрация исчезает, то это подтверждает, что она является следствием магнитной асимметрии.

Некоторые из механических причин вибрации могут быть

определены по их частоте. Если причиной вибрации является неуравновешенность, то число колебаний в единицу времени равно числу оборотов машины, а отношение амплитуд вибраций при различной скорости вращения равно отношению квадратов скоростей. Если же причиной вибрации является ненормальный зазор в подшипниках (между шейками вала и вкладышами, между вкладышами и крышками) или же низкая температура масла, то число колебаний будет отличаться от числа оборотов машины, чаще всего оно бывает меньше числа оборотов.

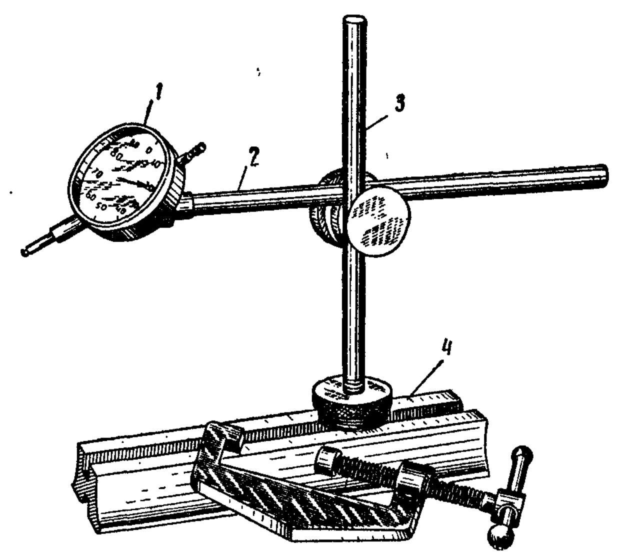


Рис. 17. Индикатор часовой на подставке:
1 — индикатор, *2* — штатив, *3* — стойка, *4* — подставка

Вибрацию измеряют виброметрами и вибрографами (самопишущие приборы). Существует большое разнообразие типов и конструкций этих приборов, отличающихся степенью точности измерений при различных частотах измеряемых колебаний. Однако на монтажах чаще пользуются простейшими виброметрами, как, например, индикаторами часового типа (рис. 17).

Индикатор состоит из системы связанных между собой рычагов или зубчатых колес, увеличивающих малые движения и позволяющих отсчитывать эти движения на циферблате со стрелкой. Индикатор *1* на штативе *2* прикрепляется к вертикальной стойке *3*, установленной на подставке *4*, что позволяет ставить его под любым углом. Обычно применяются индикаторы с ценой деления 0,01 *мм*, причем перемещение измерительного стержня штифта индикатора на 1 *мм* соответствует одному полному обороту стрелки.

Для производства измерений индикатор устанавливают на какую-нибудь неподвижную опору, не подверженную вибрациям, а измерительный стержень устанавливают перпендикулярно к оси вала и небольшим усилием приводят в соприкосновение с проверяемой поверхностью и перед отсчетом слегка постукивают по индикатору. Если стрелка установится после постукивания в прежнее положение, то это будет свидетельствовать о правильной установке индикатора.

Для более точного измерения вибрации часовой индикатор вставляют в инерционную массу, представляющую собой массивное стальное или свинцовое кольцо. Инерционная масса вместе с индикатором упруго подвешивается к корпусу прибора, который прикрепляется к вибрирующему объекту.

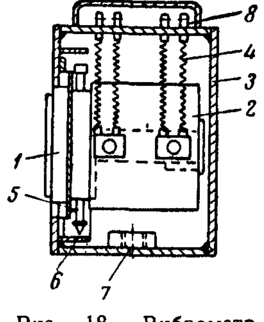


Рис. 18. Виброметр завода ХТГЗ

Применение инерционной массы вызвано тем, что в силу своей инерции эта масса, будучи упруго подвешенной, остается при колебаниях корпуса прибора практически неподвижной; перемещение корпуса относительно неподвижной массы измеряется индикатором. Неподвижность массы относительно корпуса будет иметь место, если частота ее свободных колебаний будет значительно меньше частоты измеряемых колебаний (не меньше чем в три раза).

На рис. 18 показан виброметр Харьковского турбинного завода. Индикатор *1* встраивается в инерционную массу *2*, подвешенную к корпусу *3* с помощью восьми вертикальных цилиндрических пружин *4*. Штифт *5* индикатора упирается в кольцо *6* корпуса. Индикатор крепится к массе таким образом, что он может поворачиваться в вертикальной плоскости для измерения колебаний в любом направлении (в этой плоскости), которое определяется направлением штифта индикатора. Для прикрепления прибора к вибрирующей поверхности в корпусе имеется отверстие *7* с резьбой. В нерабочем положении инерционная масса арретируется винтами. Для регулировки натяжения пружин служат гайки *8*.

Инерционную массу, служащую для создания искусственной неподвижной точки, можно заменить руками наблюдателя, так как руки, вследствие их инерционности, также не успевают следовать за измеряемыми колебаниями значительной частоты. В простейших конструкциях ручных виброметров применяется индикатор часового типа, прикрепляемый к массивной металлической ручке, имеющей также дополнительный груз.

Рассмотренные выше виброметры с индикатором часового типа дают удовлетворительную точность измерений при частоте

колебаний приблизительно 12 *гц* (около 750 *об/мин*). Другим прибором для измерения вибрации служит виброграф.

Рассмотрим виброграф ВР-3 конструкции ЦЛЭМ Мосэнерго (*рис.* 19). В металлическом футляре размещены виброграф ВР-3 (*1*), микроскоп МПБ-2 (*2*), осветитель *3*, понизительный трансформатор ТП-2 (*4*) к осветителю и запасные рулоны бумаги *5*. Основными узлами прибора являются: пишущее устройство, лентопротяжный механизм, пружинный привод, корпус прибора и арретир.

Корпус прибора служит инерционной массой. Перемещение подвижного стержня пишущего устройства по отношению к корпусу прибора вызывает поворот рычага пера, которое вычерчи-

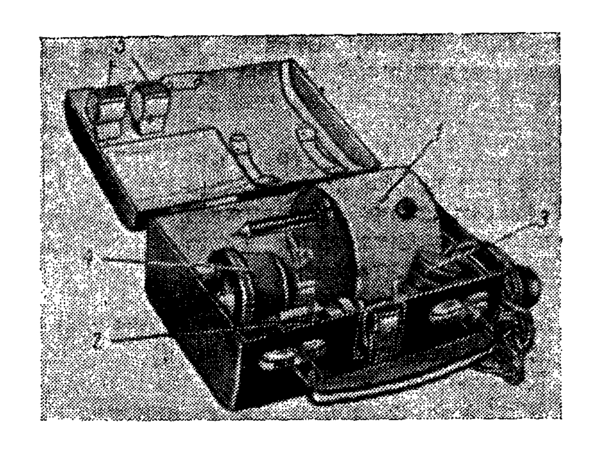


Рис. 19. Виброграф ВР-3 конструкции ЦЛЭМ Мосэнерго

вает кривую вибрации на движущейся бумажной ленте в увеличенном размере. Расшифровка записанной на ленте кривой производится при помощи микроскопа.

Одним из лучших является виброграф ВР-1 (рис. 20, *а*), который служит для записи амплитуды от 0,05 до 6 *мм* и частоты колебаний от 5 до 100 *гц* различных установок.

Отметчик времени вибрографа питается постоянным током напряжением 1,35 *в* как от собственной батареи *17*, помещающейся в каркасе, так и от внешнего источника через штепсель *25* (рис. 20, *б*).

Для переключения питания отметчика времени от собственной батареи на внешнюю сеть служит переключатель.

Корпус со всеми относящимися к нему частями образует инертную массу, которая находится в руках измеряющего. Че-

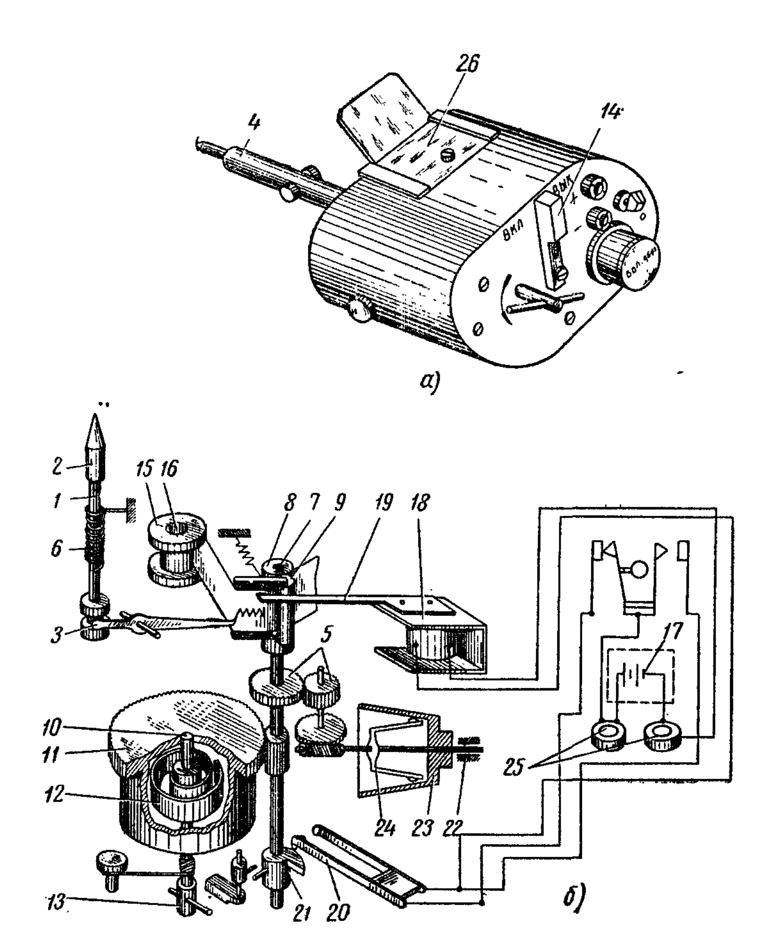


Рис. 20. Ручной виброграф ВР-1:

а — общий вид, *б* — принципиальная схема; *1* — передающий рычажный механизм со штифтом, *2* — наконечник, *3* — передвигающийся рычаг, *4* — направляющая труба, *5* — сменные шестерни, регулирующие скорость лентопротяжного механизма, *6* — цилиндрическая пружина, *7* и *9* — ролики лентопротяжного механизма, *8* — резиновая трубка, *10* — пружинный завод, *11* — барабан с зубьями, *12* — заводная пружина, *13* — ручка заводной пружины, *14* — ручка для пуска и останова механизма, *15* — катушка для рулона ленты, *16* — ось катушки, *17* — питающая батарея, *18* — электрическое реле отметчика времени, *19* — перо отметчика времени, *20* — секундные контакты, *21* — кулачок отметчика времени, *22* — центробежный регулятор, *23* — барабан центробежного регулятора, *24* — регулятор интервалов времени, *25* — штепсель для питания от внешней сети, *26* — отверстие для наблюдения

рез отверстие *26* в корпусе можно наблюдать записи и делать пометки на ленте.

Колебания в пределах от 0,05 до 1,5 *мм* виброграф записывает с шестикратным увеличением.

Вибрографы отличаются от виброметров тем, что вместо измерительного устройства, либо наряду с ним, имеется еще и записывающее устройство. Запись может производиться различными способами: в одних конструкциях — пером, чертящим по бумажной ленте, движущейся посредством часового механизма; в других — световым лучом, отраженным от зеркальца и падающим на движущуюся светочувствительную бумагу или пленку. в третьих — обычным осциллографом (у вибрографов, имеющих электромагнитную передачу колебаний).

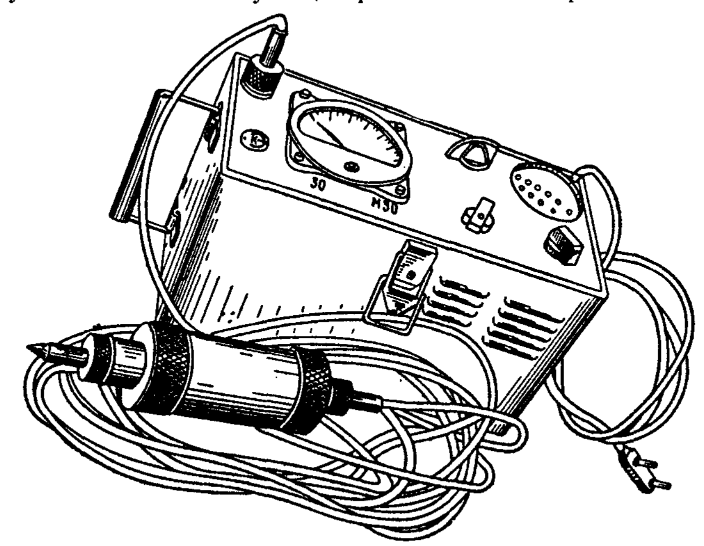


Рис. 21. Магнитоэлектрический виброметр

Для практического применения наиболее удобными являются те типы виброметров и вибрографов, которые допускают измерения вибраций сразу по всем трем направлениям (по двум взаимно перпендикулярным поперечным осям и по вертикальной оси), либо легкий и быстрый переход от одного измерения к другому. Простейшим прибором, удовлетворяющим этим условиям, является ручной виброграф с механической записью посредством пера, царапающего по бумажной ленте, покрытой особым составом.

Более совершенны магнитоэлектрические виброметры, подобные представленному на рис. 21, с отсчетом вибрации по шкале милливольтметра. Вибрация воспринимается датчиком, соеди-

ненным с измерительной частью прибора гибким кабелем достаточной длины; датчик снабжен иглой, жестко закрепленной в его корпусе. Как и в предыдущем приборе, для измерения вибрации игла упирается в намеченную точку в заданном направлении. В случае надобности кривая вибрации записывается при помощи осциллографа.

О вибрации машины судят по величинам вибрации, измеряемым в определенных точках каждого из подшипников. Принято измерять вибрацию в горизонтально-поперечном направлении (перпендикулярно оси вала), горизонтально-осевом и в вертикальном (рис. 22). Два первых измерения производят на уровне

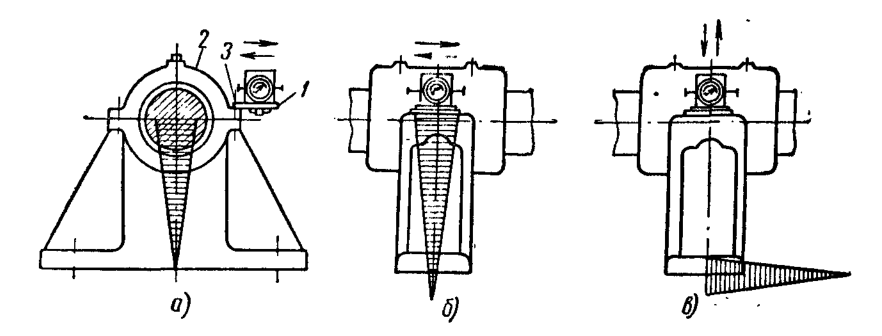


Рис. 22. Измерение вибрации в трех направлениях:
а — горизонтально-поперечном: *1* — пластниа, *2* — подшипник, *3* — болт; *б* — горизонтально-осевом; *в* — вертикальиом

оси вала, а третье — в наивысшей точке крышки подшипника. В машинах с регулировкой скорости вращения вибрацию измеряют как при основной, так и при максимальной скорости.

Для производства измерений (рис. 22, *а*) виброметр с инерционной массой (рис. 18) прикрепляют к жесткой пластине *1*, которая присоединяется к подшипнику *2* с помощью болта *3* (может быть использован болт, крепящий крышку подшипника). Штифт виброметра устанавливают в направлении измерения вибраций, затем винтами освобождают инерционную массу и производят отсчет показаний. Ширина сектора, описываемого стрелкой индикатора, дает амплитуду вибраций (двойную амплитуду колебаний).

При измерении горизонтально-поперечной вибрации виброметр устанавливают так, чтобы плоскость циферблата индикатора была перпендикулярна линии вала, а штифт был направлен горизонтально (он может упираться в левую или правую часть кольца). При измерении горизонтально-осевой вибрации (рис. 22, *б*) плоскость циферблата индикатора должна быть параллельна линии вала, а штифт направлен горизонтально. При

измерении вертикальной вибрации (рис. 22, *в*) штифт индикатора устанавливают вертикально.

При измерении вибраций измерительным индикатором *1* (без инерционной массы), показанным на рис. 23, он укрепляется на штативе *2*, который устанавливают на прочный деревянный настил *3*, изолированный от фундаментной рамы и, еще лучше, от самого фундамента. Индикатор может быть также прикреплен к грузу, подвешенному к крану. При измерении горизонтально-поперечных вибраций штифт индикатора упирается в корпус подшипника вблизи линии разъема, причем ось штифта должна быть перпендикулярна оси вала. При измерении горизонтально-осевых вибраций штифт упирается в торец подшипника, а ось штифта должна быть параллельна оси вала. При измерении вертикальных вибраций штифт индикатора упирается в верх крышки подшипника, а ось штифта должна быть перпендикулярна оси вала.

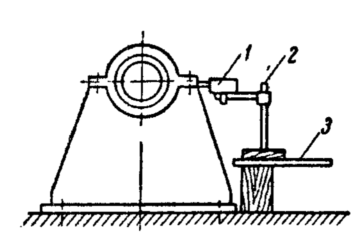


Рис. 23. Измерение вибрации измерительным индикатором:

1 — индикатор, *2* — штатив, *3* — настил

Чем быстроходнее машина, тем вибрация должна быть меньше. Общеустановленных норм для допустимой вибрации в зависимости от скорости вращения электрических машин не существует. Ниже в табл. 3, 4 и 5 приведены нормы вибрации (удвоенной амплитуды колебаний), принятые в отечественной практике.

При пользовании нормами следует учитывать, что вибрация подшипников измеряется в вертикальном, горизонтально-осевом и горизонтально-поперечном направлениях. Измерения в последних двух направлениях должны производиться на уровне оси вала.

Вибрацию крестовин вертикальных гидрогенераторов измеряют в двух взаимно перпендикулярных направлениях и горизонтальной плоскости, на уровне опорной поверхности крестовины.

Таблица 3

Нормы вибрации для электрических машин, принятые некоторыми крупными электромашиностроительными заводами Советского Союза

Скорость вращения, *об/мин*	500	600	750	1000	1500	2000	2500	3000
Допустимая вибрация, *мм*	0,16	0,16	0,16	0,13	0,1	0,07	0,06	0,05

Таблица 4

Допустимые нормы вибрации турбогенераторов и возбудителей

Скорость вращения, *об/мин*	Величина вибрации (*мм*) и их оценка		
	отлично	хорошо	удовлетворительно
1500	До 0,03	До 0,05	До 0,07
3000	До 0,02	До 0,03	До 0,05

Таблица 5

Допустимые нормы вибрации крестовин вертикальных гидрогенераторов

Скорость вращения, *об/мин*	Нормы вибрации, *мм*
От 62,5 до 187,5	0,18
„ 214 „ 375	0,12
„ 500 „ 1000	0,10

Глава вторая

АППАРАТУРА И ПРИБОРЫ ДЛЯ ПУСКОНАЛАДОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ

§ 1. ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Для испытания изоляции высоким напряжением переменного тока служат специальные испытательные трансформаторы как для стационарных, так и для передвижных установок.

Мощность испытательного трансформатора может быть подсчитана, исходя из величины испытательного напряжения и емкости объекта испытания. Если обозначить емкость испытуемого объекта через C_x (*пф*), а величину необходимого испытательного напряжения $U_{исп}$ (*кв*), то требуемая мощность испытательного трансформатора выразится следующей формулой

$$S = U_{исп}^2 \cdot \omega \cdot C_x \cdot 10^{-6} \text{ ва},$$

а емкостный ток может быть подсчитан по формуле

$$I_c = U_{исп} \cdot \omega \cdot C_x \cdot 10^{-6} \text{ ма}.$$

Руководствуясь табл. 6, можно выбрать необходимую мощность трансформатора для производства испытаний отдельных видов электрооборудования. На практике мощность испытательного трансформатора для испытаний небольших электрических машин и другого оборудования повышенным напряжением переменного тока обычно выбирается из расчета 1 *ква* на 5—7 *кв* испытательного напряжения.

Все типы испытательных трансформаторов выполняются в виде масляных однофазных трансформаторов (на напряжение до 500 *кв*, номинальной мощностью до 50 *ква*) с разветвленной магнитной цепью и обмотками на среднем стержне вертикально расположенного магнитопровода. Между концентрически расположенными обмотками помещается разрезанный медный лист,

Таблица 6

Необходимая мощность испытательных трансформаторов в зависимости от емкости испытываемых объектов

Показатели для выбора испытательного трансформатора	Вид оборудования			
	выключатели, вводы, трансформаторы тока и напряжения, малые силовые трансформаторы	силовые трансформаторы до 20 *Мва*, небольшие силовые и высокочастотные конденсаторы	трансформаторы 20 *Мва* и выше, силовые конденсаторы, генераторы и синхронные компенсаторы до 15 *Мва*, электродвигатели до 15 *Мвт* и кабели 50—500 *м*	генераторы до 50 *Мвт*, синхронные компенсаторы до 50 *Мва*, кабели до 2 *км* и силовые конденсаторы
Емкость объекта, *пф*	50—1000	2000—10 000	20 000—100 000	200 000—500 000
Ток емкостный при 10 *кв* *ма*	0,16—3,1	6,2—31	62—310	620—1600
Мощность трансформатора, *ва*: При измерении мостом переменного тока на 10 *кв*	1,6—31	62—310	620—3100	6200—16 000
Мощность трансформатора, *ва*: При испытании напряжением 20 *кв*	6,3—125,6	251—1256	2512—12 560	25 120—62 800
Мощность трансформатора, *ва*: То же, 100 *кв*	157—3140	6280—31 400	62 800—314 000	—

соединенный с корпусом и являющийся экраном, защищающим первичную обмотку от наведения в ней электростатических перенапряжений при разрядах во вторичной цепи.

Для некоторых испытаний применяются испытательные трансформаторы ЭТВ напряжением 78 *кв*, мощностью 4 *ква* (рис. 24). В качестве испытательных трансформаторов могут

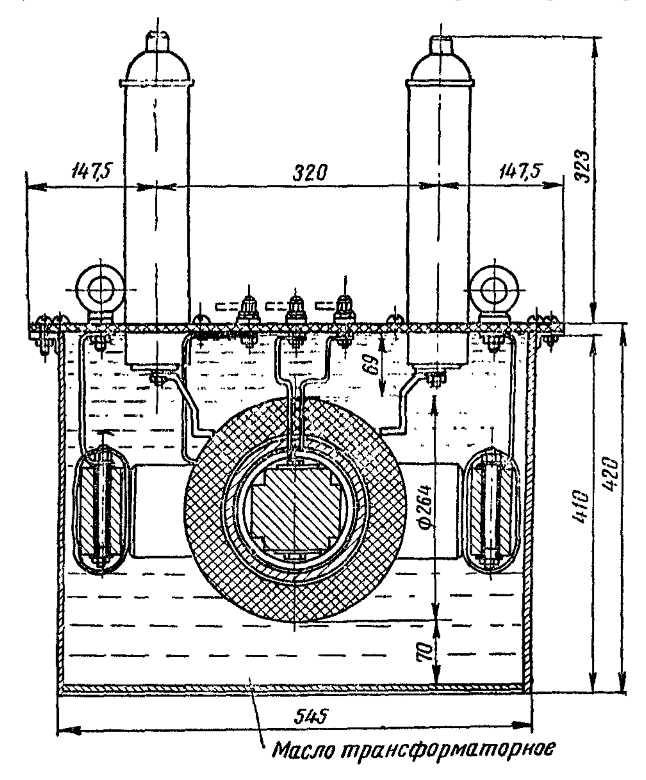


Рис. 24. Общий вид разреза испытательного трансформатора ЭТВ-35 (от рентгеновских аппаратов)

применяться измерительные трансформаторы напряжения. Схемы включения таких трансформаторов показаны на рис. 25. В данном случае не требуется соблюдение их класса точности, поэтому они могут работать с нагрузкой, соответствующей максимальному значению мощности вне класса точности.

Кратковременная перегрузка трансформаторов напряжения при испытаниях высоким напряжением допускается от 3,5- до 5-кратного значения по отношению к длительно допустимой нагрузке, указанной на заводском щитке.

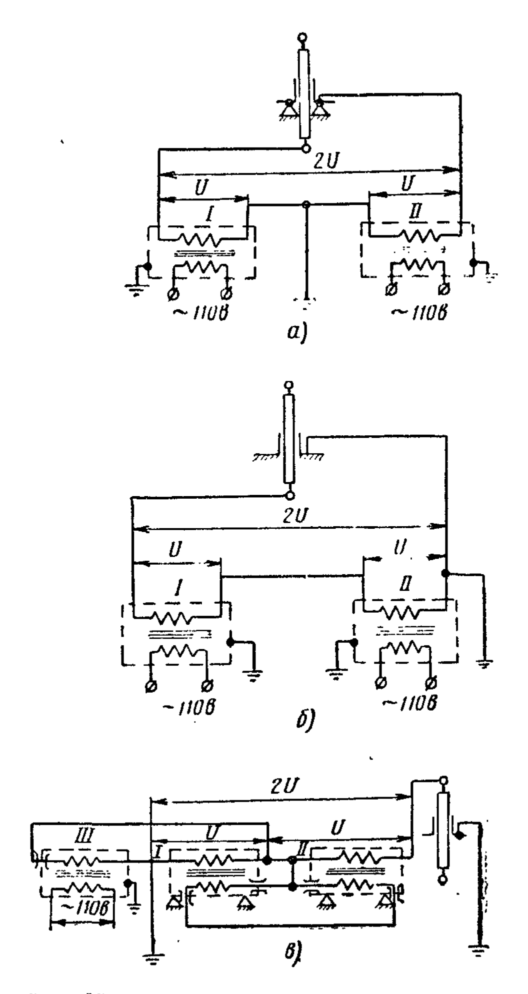


Рис. 25. Схемы включения измерительных трансформаторов напряжения для повышения напряжения при испытаниях:

а, б — последовательное соединение, *в* — каскадное

§ 2. УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БОЛЬШИХ ТОКОВ

В период пусконаладочных работ для проведений испытаний защиты и в других случаях необходимо имитировать электрические нагрузки, рассчитанные на десятки и сотни ампер. Для этой цели применяются нагрузочные реостаты, трансформаторы, автотрансформаторы.

Переносный нагрузочный реостат на 100 *а* и 220 *в* предназначен для плавно-ступенчатого регулирования тока при испытаниях защитных и других устройств. Реостат рассчитан на ток от 0,035 до 100 *а* длительного включения.

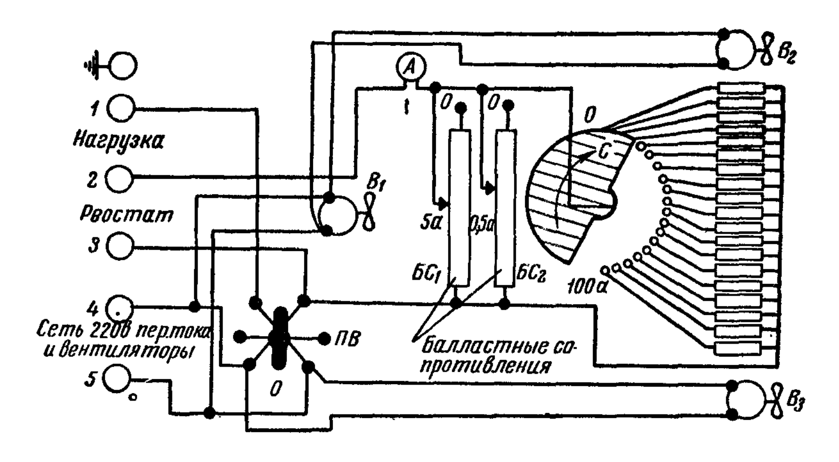


Рис. 26. Схема нагрузочного реостата на 100 *а*:

ПВ — пакетный выключатель; B_1, B_2, B_3 — вентиляторы, *А* — амперметр на 100 *а* прямого включения, $БС_1$ — балластное сопротивление 40 *ом*, $БС_2$ — балластное сопротивление 400 *ом*, *С* — сектор (латунный)

Как видно из схемы, приведенной на рис. 26, нагрузочный реостат имеет три ступени регулирования тока.

На первой ступени регулирование производится при помощи специального секторного переключателя по 5 *а*.

Вторая и третья ступени имеют плавное регулирование при помощи специальных круглых реостатов: для второй ступени — от 0,5 и для третьей ступени — от 0,035 до 0,5 *а*. Нагрузку следует присоединять при постоянном токе к зажимам *1*, *2* и *3*, сеть 220 *в* переменного тока (питание вентиляторов) — к зажимам *4* и *5*.

Чтобы избежать чрезмерного нагрева реостата током, введен принудительный обдув всех токоведущих частей тремя вентиляторами, из которых два охлаждают спирали ступенчатой регулировки, а один — реостаты плавной регулировки.

Нагрузочный реостат имеет габаритные размеры 420×630××190 *мм*, максимальную мощность при 220 *в* — 22 *квт*, вес 18 *кг*.

Переносный нагрузочный реостат на 50 *а* и 380 *в* примерно такой же конструкции, как и предыдущий, предназначен для длительного включения и регулирования тока от 9,5 до 50 *а*: ступенчатое через 3 *а* и плавное от 0,5 до 3 *а*.

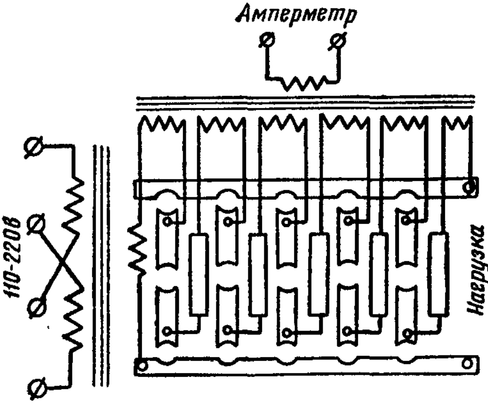


Рис. 27. Переносный нагрузочный трансформатор для прямого включения в сеть 127—220 *в*

Переносный нагрузочный реостат для испытания сложной защиты РСП обеспечивает плавное регулирование тока от 0,5 до 60 *а* в сети 220 *в* и от 0,25 до 100 *а* в сети 120 *в*. Вес реостата 10 *кг*.

Пользование реостатами без обдува вентиляторами не допускается.

Переносные нагрузочные трансформаторы. Для проверки трансформаторов тока, а также для проверки первичным током устройств релейной защиты, когда необходим ток большой величины, целесообразно применять специальные нагрузочные трансформаторы.

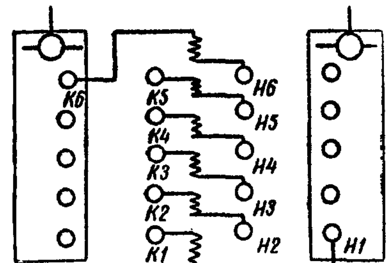


Рис. 28. Переносный нагрузочный трансформатор для включения в сеть 127—220 *в* через регулировочный автотрансформатор ЛАТР-2

Нагрузочный трансформатор, разработанный в Мосэнерго (рис. 27), рассчитан на отдачу мощности до 22 *ква*, кратковременно в течение 10 *сек*, и до 7 *ква* — в повторно-кратковременном режиме (50 включений продолжительностью 0,5 *мин* с перерывом между включениями в 1 *мин*). Нагрузочный трансформатор предназначен для прямого включения в сеть 127—220 *в*. Первичная обмотка имеет две секции, включаемые последовательно на напряжение 220 *в* или параллельно на 110 *в*. Вторичная обмотка имеет шесть секций, переключение которых выполняется на специальном коммутаторе, т. е. грубым регулированием (100, 200, 300 и 600 *а*). Для плавного регулирования тока с первичной стороны включается реостат, рассчитанный на ток до 35 *а* при 220 *в* и на ток до 70 *а* при 110 *в*. Последовательно с вторичной обмоткой

включен измерительный трансформатор тока с переменным коэффициентом трансформации, переключение которого происходит в зависимости от принятой схемы вторичных обмоток нагрузочного трансформатора.

Нагрузочный трансформатор вместе с вспомогательными устройствами находится в кожухе, имеющем ремень для переноски. Полный вес устройства составляет около 25 *кг*.

Для этих же целей Государственным проектным институтом «Тяжпромэлектропроект» разработан более мощный переносный нагрузочный трансформатор на 3000 *а* (рис. 28) с вторичной обмоткой на 6, 12, 18 и 36 *в*. Получение таких напряжений осуществляется коммутатором. В трансформаторе применен кольцевой магнитопровод диаметром 225 *мм*, набранный из стальных листов. Кратковременная мощность нагрузочного трансформатора 15 *ква*. Включение трансформатора в сеть 220/127 *в* может быть осуществлено от регулировочного автотрансформатора ЛАТР-2.

§ 3. УСТРОЙСТВА ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ

Для испытания высоковольтной изоляции переменным или постоянным током высокого напряжения, а также и в других случаях необходимы регуляторы напряжения, которые плавно поднимают напряжение до необходимой величины.

В качестве регулировочных устройств применяют реостаты и потенциометры, автотрансформаторы, вольтодобавочные трансформаторы, трансформаторы с подвижными катушками или с подвижным стальным магнитопроводом, индукционные регуляторы и генераторы.

Реостаты и потенциометры применяют для регулирования напряжения при малых мощностях. При больших нагрузках возникли бы большие потери энергии в них и серьезные затруднения при изготовлении таких реостатов и потенциометров.

Современные регуляторы напряжения представляют собой однофазные и трехфазные автотрансформаторы. Автотрансформаторы просты в изготовлении и имеют высокий к. п. д., небольшое внутреннее сопротивление, малые габариты и вес; они позволяют плавно регулировать напряжение от 0 до 250 *в* при присоединении к питающей сети 120 или 220 *в*.

Наиболее удобным и широко распространенным устройством для регулирования напряжения является лабораторный регулировочный автотрансформатор ЛАТР. Он выпускается промышленностью двух типов — ЛАТР-1 на ток 9 *а* и ЛАТР-2 на ток 2 *а*. Принципиальная схема автотрансформатора приведена на рис. 29, внешний вид — на рис. 30.

Автотрансформаторы ЛАТР-1 и ЛАТР-2 имеют кольцеобразную форму магнитопровода; над верхней торцевой поверхностью обмотки на валике укреплен пластмассовый держатель с контактной роликовой щеткой, движущейся при повороте рукоятки по зачищенным от изоляции виткам торцевой части обмотки. Число ступеней регулирования равно числу витков обмотки автотрансформатора; последнее выбирается достаточно большим для того, чтобы регулировка напряжения была плавной.

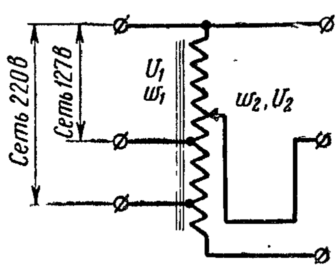


Рис. 29. Принципиальная схема лабораторного регулировочного автотрансформатора ЛАТР

В настоящее время в испытательных и лабораторных установках применяются трехфазные индукционные регуляторы напряжения АИ61-100, АИ62-100 и МА195. Они предназначены для широкого и плавного регулирования напряжения (в пределах ±100%). Внешний вид и габаритные размеры трехфазного индукционного регулятора приведены на рис. 31.

Трехфазные индукционные регуляторы АИ61-100 и АИ62-100 выполняются проходной мощностью от 15 до 96 *ква* при первичном напряжении сети 220 *в*. Трехфазные индукционные регуляторы МА195 выполняются проходной мощностью от 100 до 1770 *ква* при первичном напряжении сети 220, 380, 500 и 6000 *в* и частоте 50 *гц*.

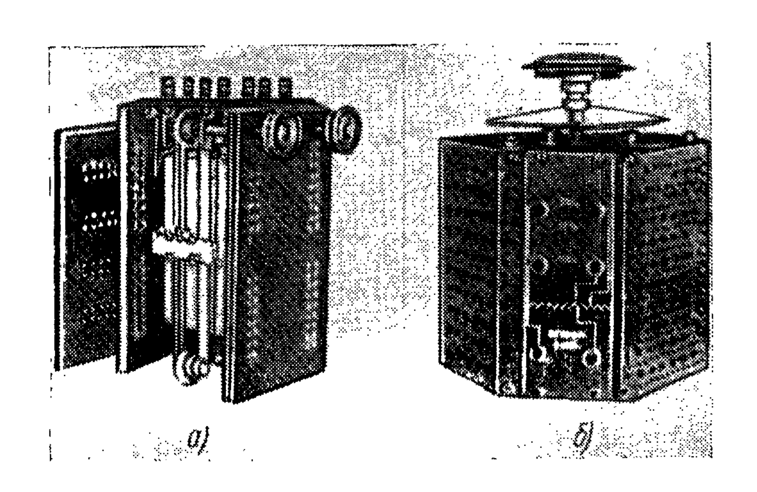


Рис. 30. Внешний вид автотрансформаторов:
а — ЛАТР-1, *б* — ЛАТР-2

Регулировочное устройство типа индукционного регулятора представляет собой заторможенный асинхронный электродвигатель с фазным ротором. Схема включения трехфазного индукционного регулятора напряжения приведена на рис. 32. Для регулирования трехфазного напряжения может быть использован фазорегулятор, включенный по схеме потенциал — регулятора.

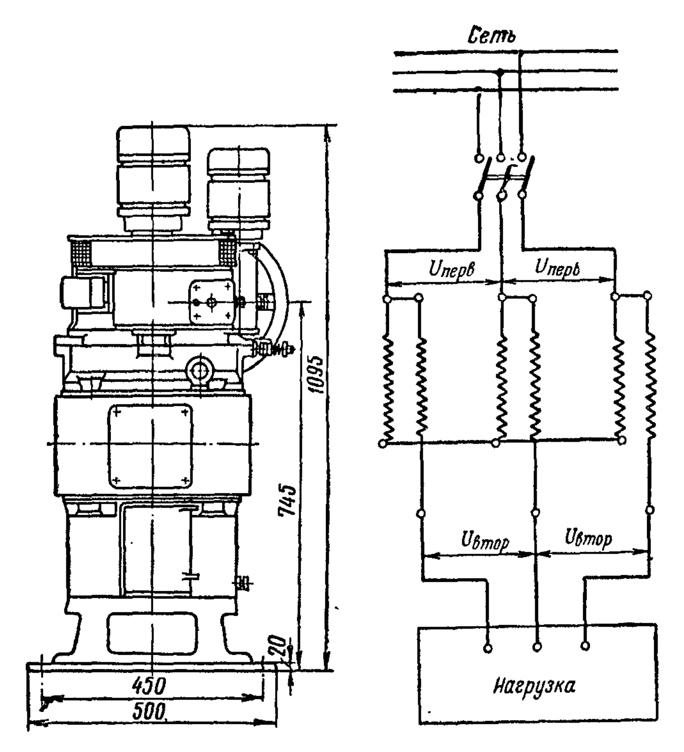


Рис. 31. Внешний вид и габаритные размеры трехфазного индукционного регулятора напряжения

Рис. 32. Схема включения трехфазного индукционного регулятора напряжения АИ61-100

§ 4. МЕГОММЕТРЫ

Мегомметры предназначены для измерения сопротивления изоляции обмоток электрических машин, трансформаторов и конденсаторов, а также выключателей, кабельных и воздушных линий, опорных проходных и подвесных изоляторов и других изоляционных конструкций. Мегомметры применяются также для проверки целостности цепей и определения характера по-

вреждений в кабельных и воздушных линиях, электрических машинах и трансформаторах и другом электрооборудовании.

Конструкции мегомметров различных систем состоят из следующих основных частей (рис. 33): измерительного прибора с нанесенной на нем шкалой в омах или мегомах и небольшой магнитоэлектрической машины (генератора, иногда его называют индуктором). Магнитоэлектрическая машина (генератор, индуктор), приводимая в действие вращением рукоятки, состоит из якоря, вращаемого в поле постоянного магнита, вследствие чего в цепи якоря создается переменный ток. С помощью специального коллекторного устройства, расположенного на оси машины, переменный ток преобразуется в выпрямленный пульсирующий ток, близкий по своим свойствам постоянному току. Преобразование переменного тока в постоянный необходимо потому, что при испытаниях показания приборов зависели бы не только от измеряемого сопротивления изоляции, но также и от емкостного

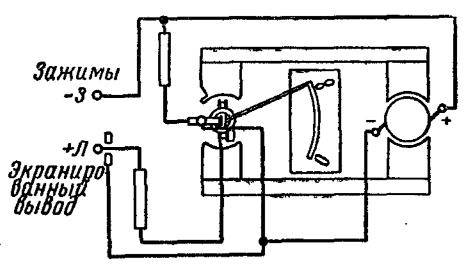


Рис. 33. Принципиальная схема мегомметра

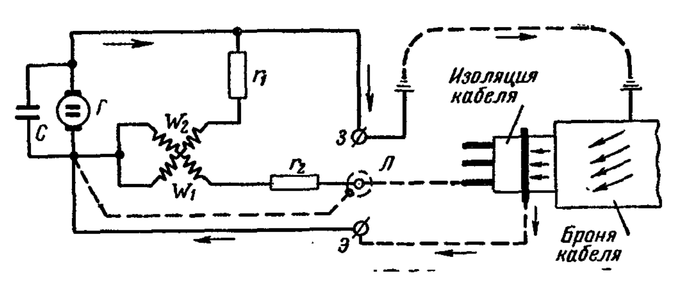


Рис. 34. Принципиальная схема мегоммегра на 1000 *в* типа МОМ-5

сопротивления испытываемой цепи, что не дало бы возможности судить о величине сопротивления изоляции. Особенно это относится к испытаниям цепей, имеющих большую емкость, как, например, кабельные и воздушные линии.

Для исключения влияний поверхностных токов утечки, могущих исказить результаты измерения сопротивления изоляции в схеме мегомметра (рис. 34), предусмотрен специальный третий зажим (*Э* — экран), присоединенный непосредственно к выводу генератора. В этом случае токи по поверхности увлажненного

изолятора отводятся, минуя обмотки мегомметра, в землю. Линейный зажим *Л* мегомметра защищен охранным изолирующим кольцом.

В случае измерения сопротивления изоляции как относительно земли, так и между цепями, изолированными от земли, зажимы мегомметра *Л* (линия) и *З* (земля) присоединяются, например у кабеля, к его жилам, а зажим *Э* (экран) — к броне кабеля (рис. 35). При измерении сопротивления изоляции между обмотками машины зажим «экран» присоединяется к корпусу машины. Использование зажима «экран» повышает точность измерения при определении больших сопротивлений изоляции.

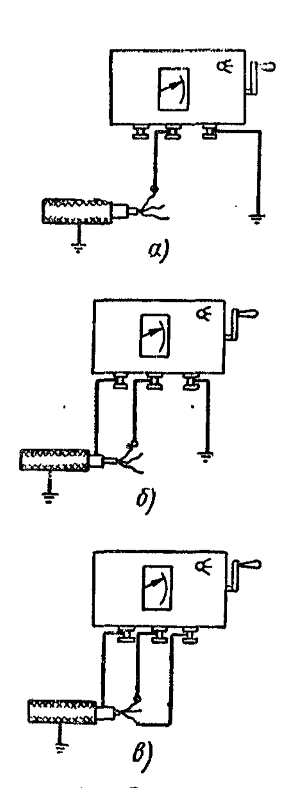


Рис. 35. Схема измерения сопротивления изоляции мегомметром:

а — относительно земли, *б* — относительно земли с исключением поверхностных утечек, *в* — между фазами, изолированными от земли, с исключением поверхностных утечек

Присоединение мегомметра к зажимам «земля» и «линия» при испытании сопротивления изоляции по отношению к «земле» должно строго выполняться согласно имеющейся маркировке.

Если выводы мегомметра не имеют обозначений, необходимо определить их полярность, для чего к зажимам мегомметра присоединяют вольтметр постоянного тока с заранее известной полярностью и медленно вращают ручку мегомметра. При отклонении стрелки вольтметра вправо зажим мегомметра, соединенный с зажимом «минус» вольтметра, обозначится как «минус» или «земля». Второй зажим будет обозначать «плюс» или «линия». При отклонении стрелки вольтметра влево меняют присоединение его к зажимам мегомметра и повторяют испытание.

Генераторы мегомметров развивают заданное напряжение при скорости вращения 120 *об/мин* и при разомкнутой внешней цепи. Генераторы снабжаются центробежным регулятором скорости; при достижении скорости вращения рукоятки свыше 120 *об/мин* скорость вращения якоря перестает увеличиваться и напряжение генератора остается постоянным.

Наиболее распространенными из числа выпускаемых отечественной промышленностью являются мегомметры МС-05 на 500 *в* и 10 000 *Мом*, МС-2 на 2500 *в* и 20 000 *Мом*, М-1101 на 000 *в* и 1000 *Мом* и МОМ-5 на 1000 *в* и 1000 *Мом*.

Ниже приводятся технические характеристики некоторых мегомметров, выпускаемых отечественной промышленностью.

Мегомметр МС-2 (рис. 36). Прибор имеет четыре предела измерения: 0,1—20; 10—200, 100—2000; 1000—20 000 *Мом*; диапазон измеряемых сопротивлений составляет от 100 *ком* до 20 000 *Мом*. Основная погрешность измерения не превышает ±4% длины шкалы. Номинальное напряжение мегомметра 2500 *в*. Для облегчения измерения коэффициента абсорбции *К* (отношения сопротивлений изоляции, измеренных через 15 и 60 *сек* после подачи напряжения на объект) в мегомметр встроены два реле времени на тиратронах с холодным катодом МТХ-90. Эти тиратроны загораются после подачи напряжения на объект через 15 или 60 *сек* соответственно, сигнализируя о необходимости производства отсчета. Мегомметр питается от сети переменного тока 110, 127 или 220 *в* промышленной частоты. Потребляемая мощность составляет не более 40 *ва*. Габаритные размеры прибора составляют 280×200×175 *мм*, вес 6 *кг*.

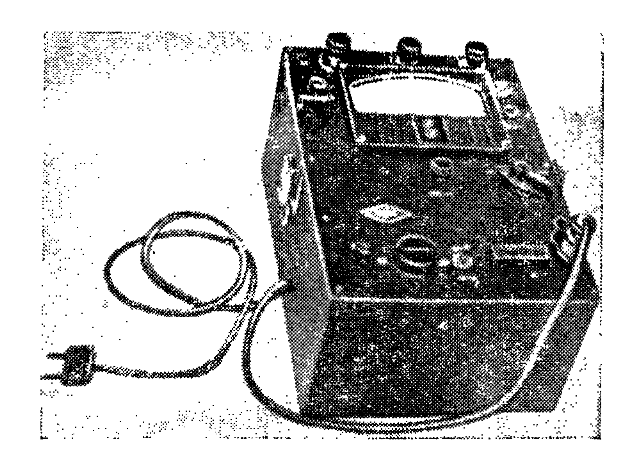


Рис. 36. Внешний вид мегомметра МС-2

Мегомметр переносный магнитоэлектрический М-1101 (рис. 37). Мегомметр выпускается на рабочие напряжения 100, 500 или 1000 *в*. Верхние пределы измерения: 100 *Мом* для рабочего напряжения 100 *в*, 500 *Мом* для 500 *в* и 1000 *Мом* для 1000 *в*. Основная погрешность ±1%. Дополнительная погрешность показаний прибора в зависимости от изменения температуры окружающего воздуха в пределах от —25 до +60° не превышает ±2% длины шкалы. Габаритные размеры мегомметра 195×130×150 *мм*. Вес прибора с чемоданом 4,5 *кг*.

Мегомметр МОМ-5 на 1000 *в*. Мегомметр имеет один предел измерения: от 0 до 1000 *Мом* с рабочей шкалой от 1 до 100 *Мом*. Напряжение на зажимах при внешнем сопротивлении *Мом* не ниже 450 *в*, а при разомкнутой внешней цепи — 1000 *в*. Вес прибора 6,8 *кг*. Принципиальная схема мегомметра приведена на рис. 34.

Мегомметр МС-05 на 2500 *в* (выпускается взамен мегомметра МС-06, снятого с производства). Мегомметр выполняется в двух исполнениях: на напряжения 500—1000—2500 *в* с переключением и на напряжение 2500 *в*. Мегомметр первого

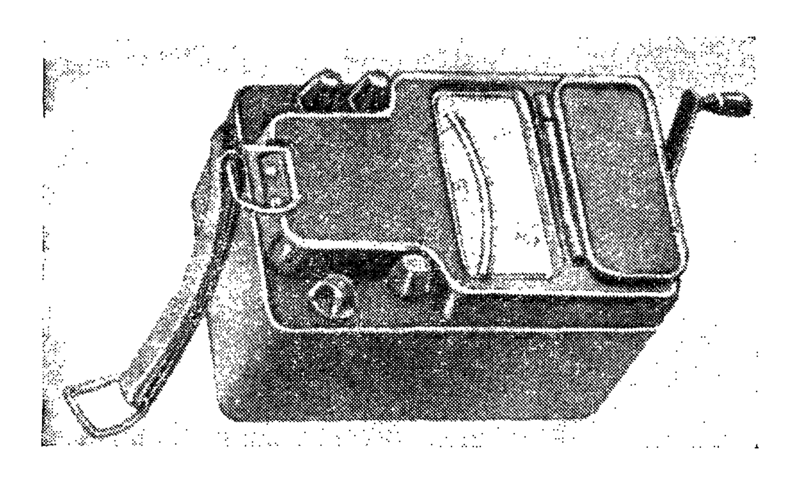


Рис. 37. Внешний вид мегомметра М-1101

исполнения имеет следующие пределы измерения: при напряжении 2500 *в* — 0÷100 *Мом*, 0÷1000 *Мом* и 0÷10 000 *Мом*; при напряжении 1000 *в* — 0÷1000 *Мом*, при напряжении 500 *в* — 0÷1000 *Мом*. По второму исполнению при напряжении 2500 *в*: 0÷100 *Мом*, 0÷1000 *Мом* и 0÷10 000 *Мом*. Погрешность измерения составляет не более ±1,5% длины шкалы. Габаритные размеры прибора: 455×182×205 *мм*. Вес 12 *кг*. Принципиальная схема мегомметра приведена на рис. 33.

Последовательность операций при работе с мегомметром. Перед началом работ необходимо отключить испытуемое оборудование от сети, принять меры для исключения подачи на него с какой-либо стороны напряжения, вывесить плакаты по технике безопасности в соответствии с требованиями действующих правил по технике безопасности, разрядить оборудование на землю, тщательно очистить все проверяемое оборудование, кабельные разделки, зажимы, провода и т. д. от пыли, грязи, остатков и обрезков материалов.

Для присоединения мегомметра к испытуемым цепям должны применяться гибкие провода с сопротивлением изоляции не ниже 100 *Мом*, имеющие на концах изолирующие рукоятки с ограничительным кольцом для соблюдения условий по технике безопасности.

Необходимо проверить мегомметр и провода, для чего, присоединив провода к мегомметру и замкнув их концы накоротко, вращают ручку мегомметра; при разомкнутых концах проводов мегомметр должен показывать бесконечность, а при замыкании концов между собой — стрелка должна быть на нуле. Работать с закороченными выводами, когда мегомметр показывает нуль, разрешается только кратковременно.

Проверив мегомметр и провода и убедившись в их исправности, приступают к измерению сопротивления изоляции. При этом следует руководствоваться следующим:

а) мегомметр должен устанавливаться горизонтально, на ровном и твердом основании. Переключатель пределов измерения устанавливается на больший предел, после чего ручка мегомметра приводится во вращение со скоростью 120 *об/мин*. При испытании объектов с большой емкостью во избежание колебания стрелки рекомендуется вращать ручку прибора со скоростью 130—150 *об/мин*;

б) измерения мегомметром производят два человека, один из них вращает рукоятку мегомметра, а другой касается надлежащим образом изолированными контактами измеряемых частей цепи;

в) отсчет показания по шкале следует производить после того, как стрелка займет устойчивое положение. При измерениях сопротивления изоляции обмоток напряжение на зажимах мегомметра сильно понижается из-за емкости машин. Так, например, при измерении сопротивления изоляции порядка 1 *Мом* мегомметром 1000 *в* действительное напряжение на зажимах мегомметра будет около 450 *в*, а для мегомметра 500 *в* — около 210 *в*. Свое номинальное напряжение мегомметры дают лишь при холостом ходе или при измерении больших величин сопротивления изоляции порядка десятков мегом. Результаты измерений зависят не только от состояния изоляции проверяемого электрооборудования, но и от длительности приложения напряжения и температуры, при которой производятся измерения, а также величины напряжения мегомметра. При измерении изоляции высоковольтного электрооборудования рекомендуется пользоваться мегомметром на напряжение 2500 *в*, а при измерении изоляции низковольтного электрооборудования — соответственно мегомметрами на 500 и 1000 *в*;

г) при проверке изоляции необходимо следить, чтобы провода от мегомметра были надежно присоединены к зажимам проверяемой цепи, а также за тем, чтобы не подать высокого

напряжения на детали с пониженным испытательным напряжением, например, на обкладки конденсаторов, на входные зажимы твердых выпрямителей и т. д. В зависимости от схемы эти детали могут быть закорочены или отключены.

Для измерения сопротивления изоляции мегомметром относительно земли применяется схема, приведенная на рис. 35, *а*;

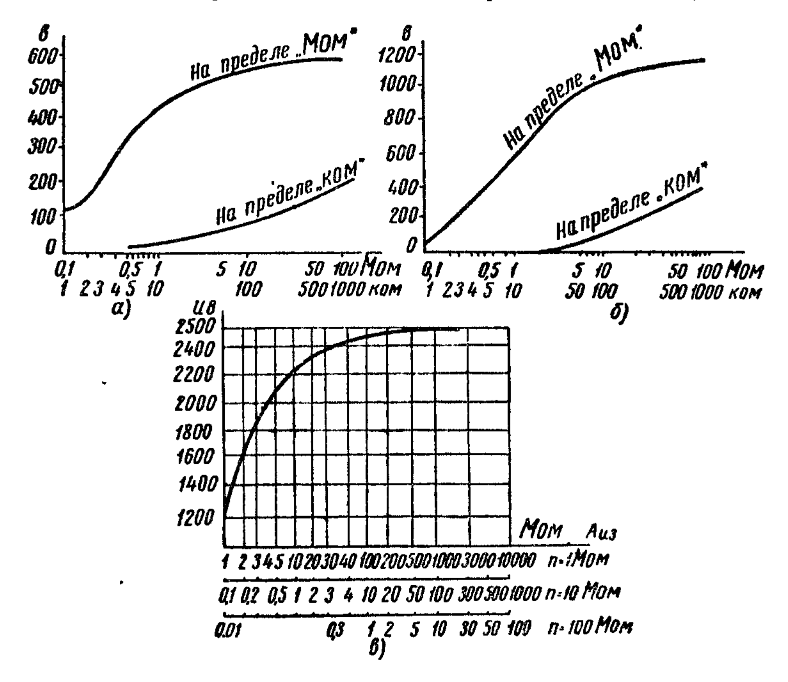


Рис. 38. Нагрузочные характеристики мегомметров:
а — на напряжение 500 *в*, *б* — на напряжение 1000 *в*, *в* — на напряжение 2500 *в*

то же, но с исключением поверхностных утечек — схема, приведенная на рис. 35, *б*; для измерения сопротивления изоляции между разными фазами (электродами), изолированными от земли, с исключением поверхностных утечек — схема, приведенная на рис. 35, *в*.

Нагрузочные характеристики мегомметров приведены на рис. 38.

§ 5. КЕНОТРОННЫЕ АППАРАТЫ

Для испытания переменным током высокого напряжения изоляции основного электрооборудования, имеющего большую емкость, например кабелей, генераторов, синхронных компенса-

торов, силовых конденсаторов, крупных электродвигателей и т. п., требуется значительная мощность испытательных трансформаторов. Поэтому для испытания указанного электрооборудования применяют кенотронные аппараты, с помощью которых можно получить выпрямленный ток высокого напряжения.

Отечественной промышленностью выпускается несколько типов кенотронных аппаратов.

Аппараты для испытания силовых кабелей АКИ-50. Эти аппараты предназначены для испытания силовых кабелей выпрямленным напряжением до 50 *кв*, регулируемым от нуля до номинального значения. Величина выпрямленного тока составляет 2 *ма*, потребляемая мощность не превышает 0,5 *ква*. Аппараты предназначены для присоединения к сети 127/220 *в* переменного однофазного тока частотой 50 *гц*. Кенотронный аппарат АКИ-50 применяется также для испытания изоляции высоковольтной аппаратуры. Принципиально-монтажная схема электрических соединений аппарата и его внешний вид приведены на рис. 39. Высокое напряжение в аппарате получается от однофазного высоковольтного масляного трансформатора с заземленным через микроамперметр началом высоковольтной обмотки. Выпрямление осуществляется кенотроном по однополупериодной схеме. Анод кенотрона является отрицательным полюсом выпрямленного напряжения, а заземленное начало высоковольтной обмотки трансформатора — положительным полюсом.

Первичная обмотка высоковольтного трансформатора присоединяется через регулятор, позволяющий плавно измерять напряжение от нуля до максимального значения; питание первичной обмотки трансформатора накала производится через автотрансформатор 127 *в*.

Включение аппарата в сеть производится кабелем со штепсельной вилкой. Измерение величины высокого напряжения осуществляется при помощи вольтметра, включенного в первичную цепь высоковольтного трансформатора и отградуированного в киловольтах максимального выпрямленного напряжения при холостом ходе аппарата.

Контроль за величиной тока утечки при испытании осуществляется микроамперметром с тремя пределами измерений: 100, 500 и 2500 *мка*, один полюс которого заземлен, а другой соединен с началом вторичной обмотки высоковольтного трансформатора. Выбор пределов измерений производится наладчиком.

Аппарат выполнен в виде передвижного пульта на колесах длиной (по фасаду) 700 *мм*, шириной 480 *мм* и высотой 880 *мм*; вес его 125 *кг*.

Аппараты КИИ-70. Эти аппараты предназначены для испытания электрической прочности изоляции кабелей, твердых и жидких диэлектриков постоянным и переменным током высокого

6а 6а
220в 127в
13 К
1 3
Отключено
5
Включено
14
6
15 KV
12
11
2
7
μA 16
17
8
8
11
4 мкф 400 в
11
10 9
К испытуемому объекту

а)

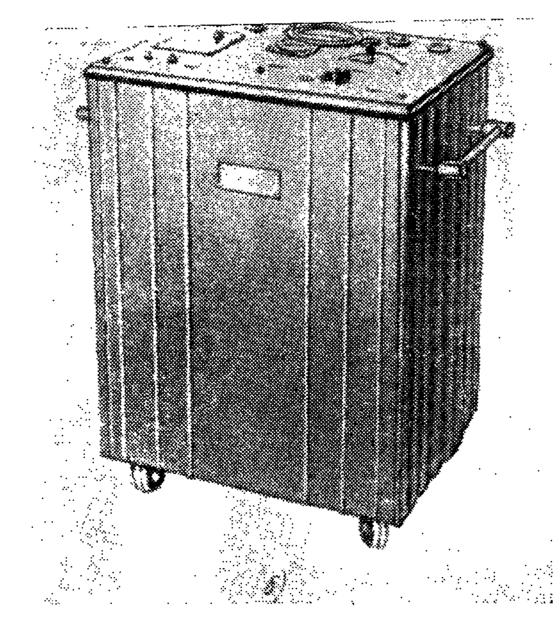


Рис. 39. Кенотронный аппарат АКИ-50:

а — принципиально-монтажная схема электрнческих соединений аппарата: *1* — автотрансформатор, *2* — высоковольтный однофазный масляный трансформатор, *3* — сопротивлеине, *4* — зеленая сигнальная лампа, *5* — максимальное реле, *6* — магнитный пускатель с электромагнитным реле, *7* — штепсельный контакт, *8* — контрольный микроамперметр, *9* — кенотрои, *10* — траисформатор накала кенотрона, *11* — разрядник, *12* — контрольный вольтметр, *13* — красная сигнальная лампа, *14* — кнопка включения, *15* — вольтметр, *16* — микроамперметр, *17* — высокоомное буферное сопротивление; *б* — внешний вид аппарата

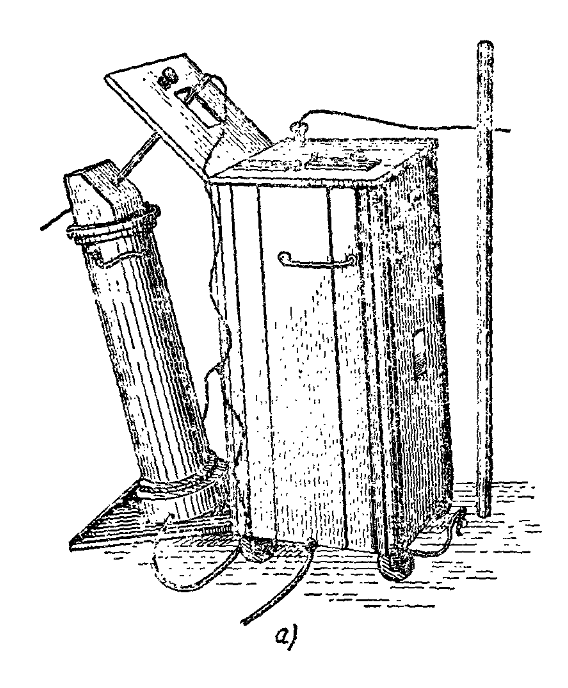


Рис. 40. Аппарат КИИ-70:

а — внешний вид аппарата; *б* — принципиальная схема аппарата: *1* — регулятор напряжения, *2* и *3* — сигнальные лампы, *4* — предохранители, *5* — переключатель напряжения, *6* — автоматический выключатель, *7* — переключатель максимальной защиты, *8* — помехозащитный конденсатор, *9* — киловольтметр, *10* — контакт автоматического выключателя, *11* — трансформатор накала кенотронов, *12* — кенотрон, *13* — микроамперметр, *14* — переключатель пределов измерения, *15* — шунты, *16* — защитный разрядник, *17* — сглаживающий конденсатор, *18* — банка с жидким диэлектриком, *19* — высоковольтный трансформатор, *20* — пульт управления, *21* — выпрямительная кенотронная приставка, *22* — крючок для разряда

напряжения. Напряжение питающей сети 127/220 *в*, частота 50 *гц*, максимальное напряжение при испытании постоянным током 70 *кв* макс., при испытании переменным током 50 *кв*. Максимальный постоянный ток высокого напряжения составляет 5 *ма*. Выходная мощность трансформатора при испытаниях переменным током 2 *ква*. Высота аппарата 1260 *мм*, длина по фасаду 900 *мм*, глубина 90 *мм*. Вес 325 *кг*. Внешний вид аппарата и принципиальная его схема приведены на рис. 40.

Аппарат снабжен микроамперметром с тремя пределами измерений: 100, 500 и 5000 *мка*.

На крышке имеется дверца со смотровым окном для наблюдения за показаниями микроамперметра и пробоем жидкого диэлектрика, снабженная дверными блок-контактами и предупреждающей надписью «Без заземления высоковольтного вывода не открывать».

С правой стороны аппарата расположена ниша с банкой для испытания жидкого диэлектрика, а также щупом и ключом для установки величины зазора между электродами (2,5 *мм*) и экранированным шнуром для присоединения испытываемого кабеля к высоковольтному выводу.

Аппарат выполнен в виде пульта на колесах.

§ 6. МОСТЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЙ ПОСТОЯННОМУ ТОКУ

Одинарные мосты. Одинарные мосты являются весьма удобными приборами для измерения сопротивлений, но при пользовании ими следует иметь в виду, что их точность для измерения сопротивлений менее одного ома недостаточна. При измерении сопротивлений, меньших одного ома, применение одинарных мостов не рекомендуется. Из общего курса электрических измерений известно, что одинарный мост Витстона (рис. 41) состоит из трех магазинов сопротивлений R_1, R_2 и R, которые с измеряемым сопротивлением R_x образуют замкнутый четырехугольник *ABCD*, в одну из диагоналей которого включается гальванометр, в другую — элемент.

Можно подобрать сопротивления R_1, R_2 и R таким образом, что при замкнутых рубильниках K_1 и K_2 ток через гальванометр не пойдет. В данном случае потенциалы точек *B* и *D* будут одинаковыми, и можно написать следующее равенство $U_{AB} = U_{AD}$ или

$$I_1 \cdot R_1 = I_3 \cdot R_x$$

и

$$U_{BC} = U_{DC}$$

или

$$I_2 \cdot R_2 = I_4 \cdot R_4.$$

Разделив почленно одно уравнение на другое, получим:

$$\frac{I_1 \cdot R_1}{I_2 \cdot R_2} = \frac{I_3 \cdot R_x}{I_4 \cdot R_4}.$$

При равновесии плеч сопротивления ток в гальванометр не ответвляется, следовательно $I_1 = I_2$ и $I_3 = I_4$. Произведя сокращение, получим:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_x}{R_4}$$

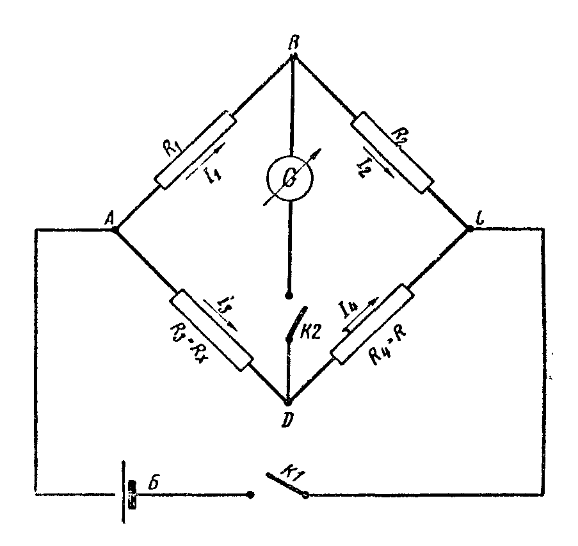


Рис. 41. Принципиальная схема одинарного моста Витстона

или

$$R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_x,$$

откуда

$$R_x = R_4 \frac{R_1}{R_2},$$

где R_1, R_2, R_4 и R_x — плечи мостовой схемы, причем R_x — искомое сопротивление, которое необходимо измерять, R_4 — образцовое сопротивление.

Полученное соотношение сохраняется, если гальванометр и источник питания поменять местами. Для производства измерения присоединяют искомое сопротивление R_x и источник питания, принимают величины сопротивлений R_1 и R_2 в «плечах отношения» примерно того же порядка, что и предлагаемое значение искомого сопротивления, и начинают подбирать величину «образцового плеча» R_4 до тех пор, пока стрелка гальванометра не установится на нуле шкалы при замкнутых рубильниках K_1 и K_2. Достигнув такого равновесия, подставляют значения сопротивлений в формулу $R_x = R_4 \frac{R_1}{R_2}$ и подсчитывают величину искомого сопротивления R_x. В вышеуказанную формулу входят три величины — сопротивления трех плеч моста. При самом лучшем изготовлении эти сопротивления подгоняются с точностью всего лишь до 0,03%. Погрешности этих сопротивлений при измерении могут складываться и будут составлять 0,05—0,1%. Вторым источником погрешностей при пользовании одинарным мостом служат проводники, которыми измеряемое сопротивление присоединяется к соответствующим зажимам моста. Фактически такой мост измеряет не только данное сопротивление, но и сопротивление соединительных проводников и переходное сопротивление контактов.

При измерении сопротивления менее 10 *ом* погрешность может быть до 1% и даже более. Конечно, эту погрешность можно значительно уменьшить, если предварительно измерить сопротивление соединительных проводников, замкнув их накоротко. Затем измерить заданное сопротивление с этими проводниками и из полученного результата измерения вычесть сопротивление проводников.

Отечественная промышленность в настоящее время выпускает несколько типов одинарных мостов для измерения электрических сопротивлений постоянному току, характеристики некоторых из них приводятся ниже.

Универсальный мост УМВ (рис. 42). В данном мосте отношение плеч R_1/R_2 выполнено в одном магазине сопротивлений, переключатель которого, соединенный с одним полюсом источника питания, делит сопротивление магазина в отношениях: 100 : 1, 10 : 1, 1 : 1, 1 : 3, 1 : 10, 1 : 100 и 1 : 1000. Точность при измерении сопротивлений в пределах от 10^{-2} до 10^{+6} *ом* составляет ±0,5%. Габариты моста: 300×250×170 *мм*, вес 6 *кг*.

Малый мост ММВ (рис. 43). Внешний вид верхней панели моста представлен на рис. 43, *а*. Реохорд этого моста выполнен из константановой проволоки, имеющей сопротивление 1,676 *ом*, на панели моста находится лимб (разделенный на градусы круг). Питание моста осуществляется от встроенного в прибор сухого гальванического элемента *1*, включаемого кнопкой *2* (рис. 43, *б*). Измеряемое сопротивление присоединяется

к зажимам R_x. Плечо R может быть установлено при помощи пятипозиционного рычажного коммутатора *3*, сопротивление которого может быть отрегулировано в следующих пределах: 0,05—5; 0,5—50; 5—500; 50—5000; 500—50 000 *ом*. На лимбе *4* реохорда нанесены деления и цифры, дающие значение измеряемого сопротивления R_x.

При разных положениях коммутатора *3* показания реохорда должны умножаться на коэффициент 0,1—1,0—10—100—1000. При работе с таким мостом следует сначала устанавливать со-

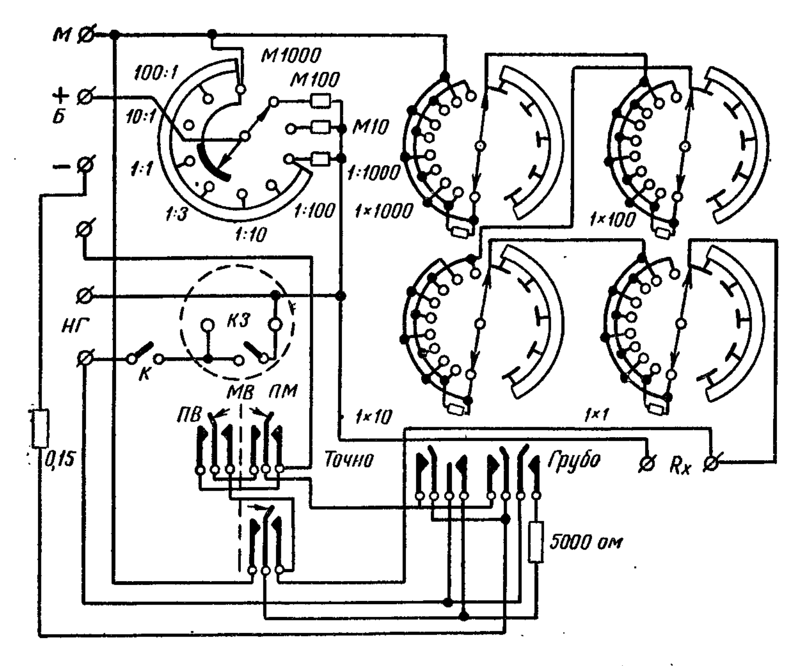
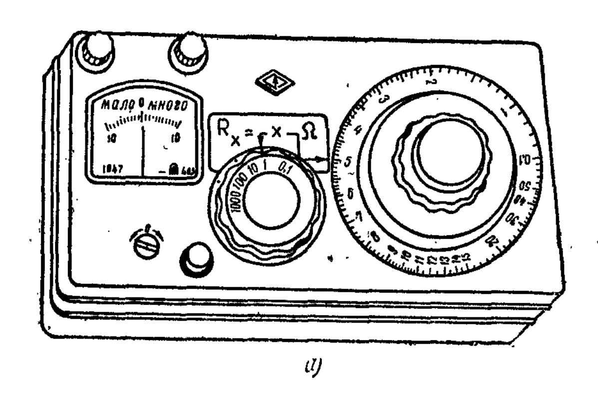


Рис. 42. Схема универсального моста УМВ

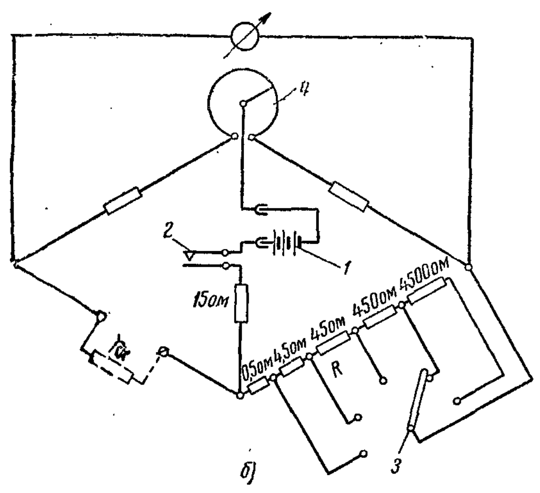
противление сравнительного плеча, равным предполагаемому значению искомого сопротивления, а затем поворотом движка менять плечи отношения до установки стрелки гальванометра на нулевое деление шкалы.

Точность измерения на средней отметке лимба составляет ±2%, пределы измерения от 0,05 до 50 000 *ом*. Габариты моста: 200×110×65 *мм*. Вес 1,8 *кг*.

Мост Р343 со встроенным гальванометром, брызгозащищенный, с точностью измерения ±5% и пределами измерения от 0,2 до 5 000 *ом*. Мост Р316 со встроенным гальванометром с



а)



б)

Рис. 43. Малый мост ММВ:
а — внешний вид, *б* — принципиальная схема

точностью измерения от 0,2 до 5,0% и пределами измерения от 10^{-5} до 10^{+6} *ом* (рис. 44).

Двойные мосты. Для измерения малых сопротивлений постоянному току применяются двойные мосты, например лабораторный одинарно-двойной мост МТВ (Томсона — Витстона). Предел измерения этого моста составляет от 10^{-6} до 10^{+6} *ом*, принципиальная его схема приведена на рис. 45.

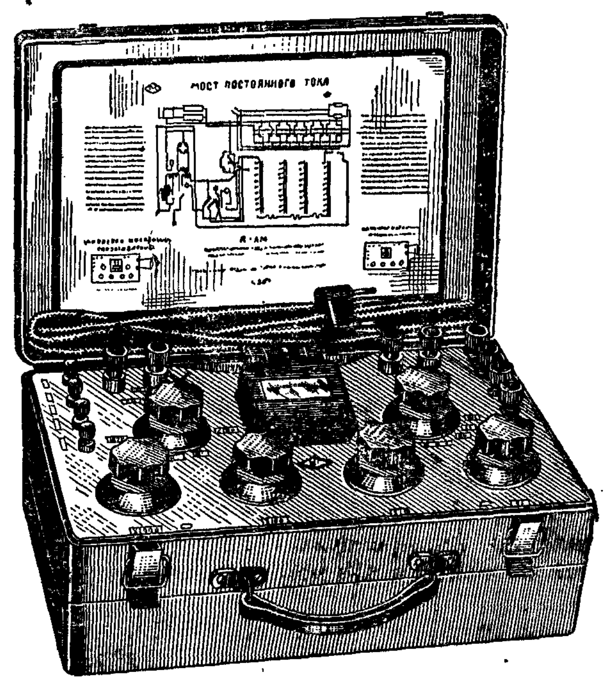


Рис. 44. Внешний вид моста Р316

Конструктивно мост МТВ оформлен в деревянном корпусе прямоугольной формы. Верхняя крышка корпуса съемная; на внутренней стороне ее укреплена схема моста и краткое описание порядка проведения работы. Все элементы моста (сопротивления, коммутирующие устройства и зажимы) смонтированы на металлическом каркасе, встроенном в корпус, и сверху закрыты лицевой панелью; на наружную сторону лицевой панели выведены органы управления и головки зажимов. Постоянные ветви моста R_1 и R_2 выполнены в виде двух одинаковых штепсельных магазинов сопротивлений, на каждом из которых путем перестановки штепселя можно установить сопротивление в 10, 100, 1000 и 10 000 *ом*. Переменная ветвь выполнена в виде пятидекадного сдвоенного рычажного магазина с общим сопротивлением

9999,9 *ом*, регулируемым ступенями по 0,1 *ом*. В качестве нулевого индикатора применяется зеркальный гальванометр магнитоэлектрической системы.

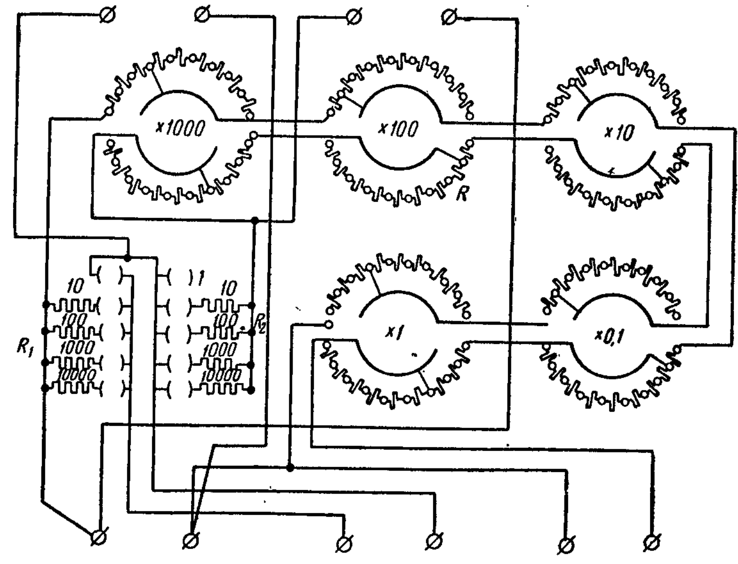


Рис. 45. Принципиальная схема моста МТВ

Мост является универсальным и путем несложных переключений может включаться или по схеме двойного или одинарного моста.

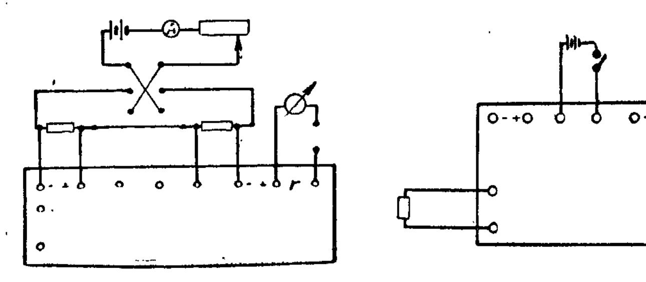


Рис. 46. Измерение сопротивлений по схеме двойного моста

Рис. 47. Измерение сопротивлений по схеме одинарного моста

Схема двойного моста (рис. 46) используется для измерения малых сопротивлений от 10^{-6} до 10 *ом*; схема одинарного моста (рис. 47) — для измерения сопротивлений от 1 до 10^6 *ом*.

На рис. 46 и 47 показаны схемы внешних соединений моста.

Правильный подбор сопротивлений моста обеспечивает точность измерения порядка ±0,05% величины измеряемого сопротивления. В схемах на рис. 46 и 47 аккумуляторная батарея применяется напряжением 2 *в*, емкостью 200—300 *а·ч*. Габариты моста 460×320×210 *мм*. Вес 13 *кг*.

Одинарно-двойной мост постоянного тока МОД-54 предназначен для точных измерений электрического сопротивления постоянному току нулевым методом путем уравновешивания плеч мостовой схемы по гальванометру, служащему индикатором (указателем) нуля. Класс точности моста ±0,05% измеряемой величины. Пределы измерения составляют от 10^{-5} до 100 *ом* по схеме двойного моста и от 100 до 10^5 *ом* по схеме одинарного моста. Измерительная схема одинарно-двойного моста (рис. 48) состоит из шести сопротивлений (плеч

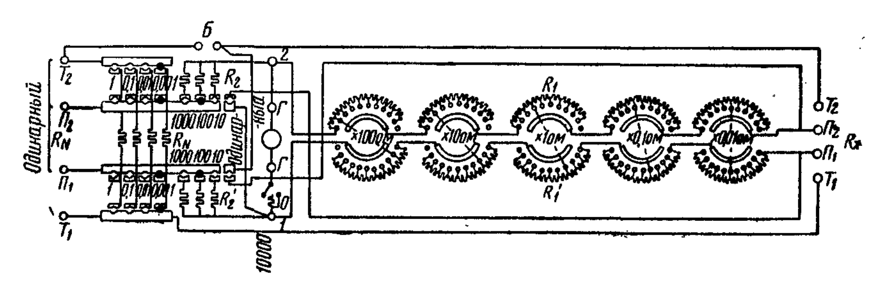


Рис. 48. Измерительная схема моста МОД-54

моста). Схема позволяет получать комбинации одинарного моста для измерения больших сопротивлений и двойного моста — для малых сопротивлений. При пользовании одинарным мостом зажимы $П_1$, $П_2$, T_2 замыкаются накоротко специальной перемычкой, приложенной к мосту. Плечи R_1 и R_1' представляют два пятидекадных рычажных магазина сопротивлений на 100; 10; 1; 0,1 и 0,01 *ом*.

Для измерения сопротивлений от 10 000 до 1 000 000 *ом*, от 1000 до 10 000 *ом* и от 100 до 1000 *ом* требуются аккумуляторы или другие источники питания со стабильным напряжением, соответственно 30; 10 и 4 *в*. Плечи R_2 и R_2' представляют два штепсельных магазина сопротивления на 1000; 100 и 10 *ом*. Пятое плечо R_N (сравнительное или образцовое) состоит из четырех штепсельных магазинов сопротивлений на 1; 0,1; 0,01 и 0,001 *ом*. В шестое плечо включается измеряемое сопротивление R_x. Мост имеет двенадцать зажимов. Два зажима, обозначенные буквой *Б*, предназначены для присоединения батареи питания; зажимы, обозначенные буквой *Г* — для присоединения гальванометра (рис. 48). Для присоединения измеряемого сопротивления R_x предусмотрены четыре зажима, из них два,

обозначенные буквами T_1 и T_2, — токовые, а два ($П_1$ и $П_2$) — потенциальные — предусмотрены на случай присоединения моста в качестве плеча сравнения R_N наружного образцового сопротивления 1 или 2-го класса. Это осуществляется в том случае, когда необходимо произвести измерения с повышенной точностью. При измерении сопротивлений с точностью до 0,05% в качестве плеча сравнения R_N используются находящиеся внутри прибора четыре сопротивления с номинальным значением в 1; 0,1; 0,01 и 0,001 *ом*. Рычажные переключатели магазинов сопротивлений плеч R_1 и R_1' имеют большую поверхность хорошо притертых щеток.

В зависимости от величины измеряемого сопротивления для наибольшей точности измерения целесообразно пользоваться одной из нижеследующих схем.

При измерении сопротивлений от 0,0001 до 10 *ом* (рис. 49, *а*) с внутренним сравнительным сопротивлением R_N, которое помещено внутри прибора, до начала измерений ключ переключателя чувствительности должен быть переведен в положение ∞. При помощи реостата в цепи батареи устанавливается необходимая величина тока, которая не должна превышать максимального значения, например при $R_N = 0{,}001$ *ом* — 30 *а*, а при $R_N = 1$ *ом* — 1 *а*.

Для уменьшения влияния сопротивления соединительных проводников присоединение неизвестного сопротивления R_N к токовому зажиму T_1 должно выполняться проводниками большого сечения (с сопротивлением не выше $1 \cdot 10^{-4}$ *ом*).

Для того чтобы исключить погрешность от влияний термоэлектродвижущих сил, нужно произвести измерение при обратном направлении тока, т. е. переменить его полярность. Измерения при прямом и обратном направлении тока в гальванометре рекомендуется произвести дважды и в качестве окончательного результата взять среднее арифметическое из четырех измерений. Образцовые катушки сопротивлений 1 и 2-го класса можно использовать в качестве наружного сравнительного сопротивления R_N с целью повышения точности измерения. При измерении очень малых сопротивлений от 0,00001 до 0,0001 *ом* образцовые катушки присоединяются к зажимам R_x, а измеряемое сопротивление — к зажимам R_N (рис. 49, *б*), а при измерении сопротивлений от 0,0001 до 100 *ом* — наоборот. При измерении больших сопротивлений от 100 до 100 000 *ом* пользуются схемой одинарного моста (рис. 48). Габаритные размеры моста составляют 660×394×234 *мм*. Вес моста 35 *кг*.

Мост двойной МД6. Мост двойной МД6 с встроенным гальванометром представляет собой переносный прибор, предназначенный для измерений нулевым методом на постоянном токе малых электрических сопротивлений в пределах от 10^{-5}

до 11 *ом*. Мост МД6 применяется для измерений с невысокой степенью точности в лабораторной и заводской практике. Он применяется для контрольных измерений сопротивлений обмоток электромашин и трансформаторов при пусконаладочных

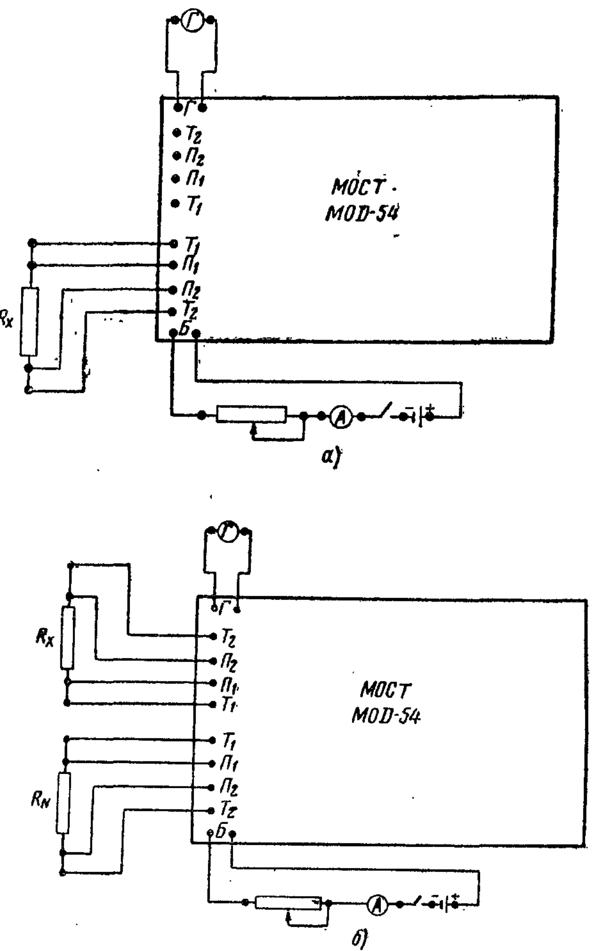


Рис. 49. Схема внешних соединений моста МОД-54:
а — при измерении сопротивлений от 0,0001 до 10 *ом*, *б* — при измерении очень малых сопротивлений от 0,00001 до 0,0001 *ом*

работах на месте их установки. Питание прибора осуществляется от внешнего источника тока — щелочного аккумулятора напряжением 1,2 *в*. Габариты моста составляют 365×250×185 *мм*. Вес 5 *кг*.

Мост ДМЛ-48 имеет внешний гальванометр, точность измерения $\pm 0,05\%$ и пределы измерения от 10^{-5} до 100 *ом*; мост МТ-5 — отношение плеч $\frac{r_1}{r_2} = 0,01 \div 0,11$, встроенный гальванометр и предел измерения от 10^{-6} до 11 *ом* (рис. 50).

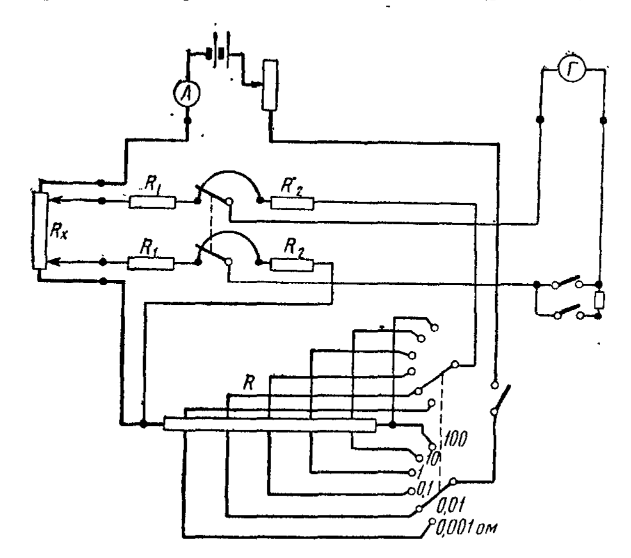


Рис. 50. Схема двойного моста МТ-5

Для измерения сопротивлений от 0,0001 до 2 *ом* должны применяться только двойные мосты, а для больших сопротивлений — одинарные мосты. При измерении сопротивлений от 2 до 100 *ом* могут быть использованы как двойные, так и одинарные мосты.

§ 7. МОСТЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЕМКОСТИ, ИНДУКТИВНОСТИ И ТАНГЕНСА УГЛА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ

Переносный малогабаритный мост МД-16 (рис. 51, *а*). Мост МД-16 состоит из четырех плеч (рис. 51, *б*). Одним плечом является испытуемый объект C_x, вторым — высоковольтный образцовый воздушный конденсатор C_N, не имеющий практически потерь, третьим — переменные активные сопротивления R_3 и четвертым — постоянное активное сопротивление R_4, параллельно которому присоединена переменная емкость C_4. Указателем равновесия моста служит чувствительный вибрационный гальванометр.

Питание моста осуществляется с помощью испытательного трансформатора *T*, подающего напряжение к точке *D* моста;

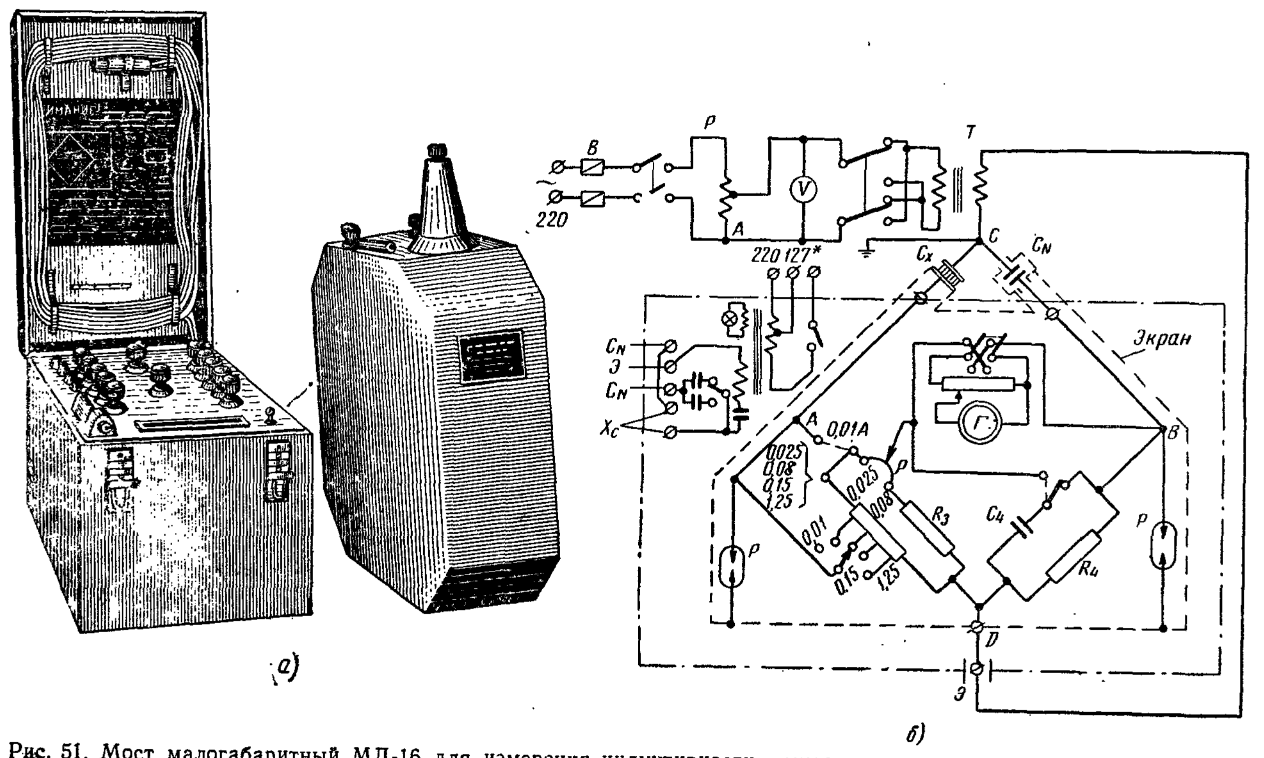


Рис. 51. Мост малогабаритный МД-16 для измерения индуктивности, емкости и угла диэлектрических потерь:
а — внешний вид конденсатора и моста, *б* — схема соединений моста

точка C заземляется. Все части моста, находящиеся под низким напряжением, а также эталонный конденсатор защищены от влияния внешних электромагнитных полей заземленным экраном. В точках A и B к мосту присоединены защитные низковольтные разрядники P.

Для равновесия моста необходимо, чтобы в точке B напряжение U было равно по величине и фазе:

$$U_3 = C_x R_3.$$

Показателем равновесия моста является нулевое показание вибрационного гальванометра $Г$. Равновесие моста достигается вначале регулировкой активного сопротивления R_3, а затем емкости C_4.

По значениям R_3, C_4 и R_4 в положении равновесия моста определяются искомые характеристики измеряемого объекта: а) тангенс угла диэлектрических потерь по формуле $\operatorname{tg} \delta_x = \omega C_4 R_4 \cdot 10^{-6}$, б) емкость по формуле

$$C_x = C_N \frac{R_4}{R_3},$$

где $\omega = 2\pi f = 2 \times 50\pi = 100\pi$ при частоте 50 *гц*.

Величину R_4 удобно принимать равной:

$$R_4 = \frac{10\,000}{\pi} \text{ ом},$$

тогда

$$\operatorname{tg} \delta_x = \omega C_4 R_4 \cdot 10^{-6} = 100\pi \cdot C_4 \frac{10\,000 \cdot 10^{-6}}{\pi} = C_4 \text{ мкф}.$$

Малогабаритный мост переменного тока МД-16 нашел широкое распространение при наладочных работах для измерения диэлектрических потерь и емкости изоляции электрооборудования. Пределы измерения мостом угла диэлектрических потерь ($\operatorname{tg} \delta_x$) от 0,5 до 60%; емкости (C_4) от 30 *пф* до 0,4 *мкф*.

Основная погрешность измерения при нормальной температуре: по емкости ±5% измеренной величины; по углу диэлектрических потерь ($\operatorname{tg} \delta_x$) для величин от 0,5 до 3% — не более ±0,3%; от 3 до 60% — не более ±10% измеряемой величины. Мост работает на рабочем напряжении от 5 до 10 *кв*. Питание моста производится от электросети напряжением 127 или 220 *в*. В комплект моста входит конденсатор воздушный ОК-83 10 *кв* и высоковольтный ввод (рис. 51, *а*). Габариты моста: 500×280×290 *мм* и конденсатора 400×140×530 *мм*. Вес моста в целом не превышает 27 *кг*.

Для измерения угла диэлектрических потерь изоляторов, снятых и доставленных в лабораторию, а также изоляторов,

установленных таким образом, что фланец их может быть изолирован от земли, применяется нормальная схема включения моста МД-16. Для измерения угла диэлектрических потерь установленного оборудования эта схема, как правило, не приемлема, так как изоляция фланцев от земли в этих условиях затруднена. В таком случае применяется так называемая «перевернутая» схема, которая приведена на рис. 4, *б*.

При работе моста по «перевернутой» схеме измерительная часть моста, т. е. плечи R_3 и R_4C_4, а также гальванометр с шунтами и переключателями, находятся под высоким напряжением. Конструкция моста предусматривает изоляцию их от заземляемого на полное испытательное напряжение металлического корпуса. Для этого панель моста с смонтированным на ней измерительным устройством помещается внутри заземленного корпуса при помощи изоляционных стоек. Все ручки переключателей, которыми пользуются при измерениях, выведены на внешнюю заземленную панель при помощи изоляционных стоек, чтобы изолировать лицо, выполняющее испытание, от частей, находящихся под напряжением.

При измерении изоляции по «перевернутой» схеме образцовый конденсатор должен быть установлен на изолирующие подставки, выдерживающие испытательное напряжение 15 *кв*.

Мост МД-16 позволяет измерять угол диэлектрических потерь и емкость конденсаторов, кабелей и других объектов.

При работе на низком напряжении экранированные и другие провода от ввода моста присоединяют к соответствующим зажимам C_x, *Э* и C_N, находящимся на верхней панели моста, как это показано на рис. 51, *а*.

Мост переменного тока Р50-1. Для измерения индуктивности и емкости на переменном токе 50 *гц* с нулевым гальванометром, встроенным в панель моста, применяется мост Р50-1, внешний вид которого показан на рис. 52, имеющий следующие пределы измерения:

емкость от 10^{-3} до 10 *мкф*;
емкость от 10^{-4} до 10^{-3} *мкф*;
индуктивность от 10^{-3} до 10 *гн*;
индуктивность от 10^{-4} до 10^{-3} *гн*.

Одновременно мост позволяет определять величину тангенса угла диэлектрических потерь измеряемых конденсаторов. Мост Р50-1 заключает в себе две схемы: одну для измерения емкости, другую — индуктивности. Обе схемы, состоящие из образцовых плеч и измеряемого элемента, образуют сложный замкнутый контур. Измеряемый объект представляет собой одно из плеч моста. На две вершины моста подается напряжение, а к двум другим присоединен указатель равновесия — вибрационный гальванометр. Измерением сопротивления плеч R_3 и $\operatorname{tg} \delta$ (в схеме измерения емкостей) или R_3 и R_1 (в схеме

измерения индуктивностей) мост приводится в равновесие. Остальные образцовые плечи обеих схем изменяются скачкообразно при помощи переключателя, обеспечивая таким образом перекрытие всего диапазона измерений.



Рис. 52. Внешний вид моста переменного тока Р50-1

Мост помещен в металлический ящик со съемной крышкой, который с панелями образует электростатический экран моста. На панели сверху имеется зажим для заземления экрана. Вес моста не превышает 20 *кг*. Напряжение питания составляет 127 или 220 *в* переменного тока. Погрешность моста на основных пределах измерения не превышает $\pm 1\%$. Габаритные размеры: высота 250 *мм*, длина 650 *мм* и ширина 450 *мм*.

Мост для измерения диэлектрических потерь Р525. Для измерения тангенса угла диэлектрических потерь ($\mathrm{tg}\,\delta$) изоляции и измерения емкости при напряжении от 3 до 10 *кв* и частоте 50 *гц* применяются мосты Р525. Измерение мостом производится путем уравновешивания плеч мостовой схемы по гальванометру, служащему индикатором (указателем) нуля. В схему моста (рис. 53) включаются изме-

ряемая емкость C_x, образцовый конденсатор C_N, встроенный в мост регулируемый магазин емкости C_4 и регулируемый магазин сопротивления R_3. В одну диагональ моста включается через усилитель индикатор (указатель) нуля — вибрационный

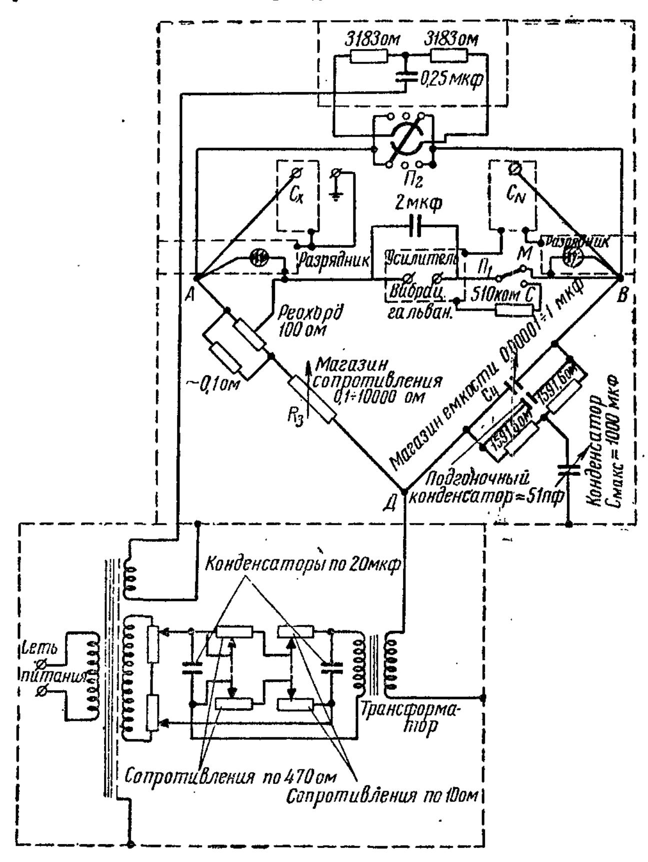


Рис. 53. Принципиальная схема моста P525

гальванометр. К вершине второй диагонали (в точке D) подается высокое напряжение от высоковольтного трансформатора, второй зажим которого заземлен.

Схема моста снабжена устройством для симметрирования ее относительно экрана.

Питание моста производится от сети переменного тока напряжением 127 *в*, частотой 50 *гц*. Пределы измерения емкости составляют от 40 *пф* до 200 *мкф*, точность измерения 0,5% + +5 *пф* — при рабочем напряжении не менее 3000 *в*. Пределы

измерения тангенса угла диэлектрических потерь от $1 \cdot 10^{-4}$ до 1.

Мост Р525 обеспечивает также измерение при рабочем напряжении 35 *кв* при помощи образцового воздушного конденсатора Р55 на 35 *кв* и трансформатора напряжения на 35 *кв*. Габариты моста 215×400×660 *мм*. Вес прибора 35 *кг*, всей комплектной установки 125 *кг*.

Мост кабельный КМ (рис. 54) предназначен для определения мест повреждений в электрических кабелях, а также для

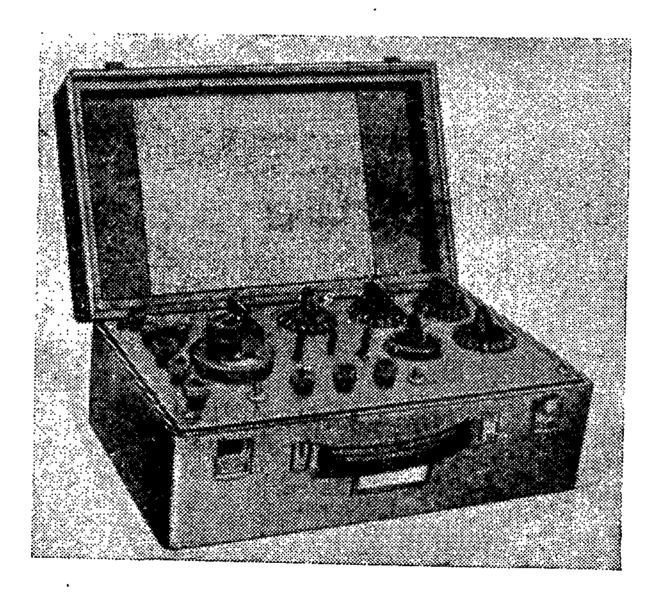


Рис. 54. Внешний вид кабельного моста КМ

измерений электрических сопротивлений, емкостей и заземления. Мост может работать на постоянном и переменном токах и применяется в основном для работ на месте укладки кабелей.

Мост КМ изготовляется с пределами измерения по сопротивлению от 1 до 10^6 *ом*, по емкости от 0,005 до 10 *мкф*. Основная погрешность не превышает: при измерении сопротивлений на постоянном токе в пределах от 1 до 10^5 *ом* ±0,5%, свыше 10^5 *ом* ±5%; при измерении сопротивлений на переменном токе в пределах от 1 до 10^2 *ом* ±5%; при измерении емкости от 0,01 до 1 *мкф* ±5%, свыше 1 до 10 *мкф* ±10%.

Для питания моста при работе на постоянном токе при измерении сопротивлений до 100 *ом* служит батарея с напряжением 4,5 *в*, для питания моста при работе на переменном токе — эта же батарея, присоединяемая к зажимам вибрационного пре-

образователя. Параллельно контактам включен контур, служащий для сглаживания пульсации тока и состоящий из емкости и сопротивления, включенных последовательно.

Габариты прибора 380×240×200 *мм*, вес 10 *кг*.

Для лучшей ориентации по вопросам выбора типа и основных технических характеристик моста ниже приводится табл. 7 некоторых наиболее ходовых мостов постоянного и переменного токов.

Таблица 7

Таблица пределов измерения мостов постоянного и переменного токов

Мосты постоянного тока		Мосты переменного тока	
тип	предел измерения, *ом*	тип	предел измерения
Одинарные мосты		МД-16	По емкости от 30 *пкф* до 0,4 *мкф*.
МВЛ-47	От 1 до 10^{+6}		По тангенсу от 0,5 до 60%
УМВ	„ 10^{-2} до 10^{+6}	УМ-2	По индуктивности от 100 *мкгн* до 100 *гн*.
МВУ-49	„ 10 до 10^{+5}		По емкости от 10 *пф* до 100 *мкф*.
ММВ	„ 0,05 до $5 \cdot 10^{+4}$		По сопротивлению от 10 *ом* до 1 *Мом*
МКМВ	„ 1 до 10^{+5}	Р50-1	По емкости от 10^{-4} до 10 *мкф*
Р316	„ 10^{-5} до 10^{+6}		По индуктивности от 10^{-4} до 10 *гн*
МКЛ-49	„ 10^{-6} до 10^{+6}	Р525	По емкости от 40 *пф* до 200 *мкф*, при рабочем напряжении не менее 3 *кв*.
Р343	„ 0,2 до $5 \cdot 10^{+3}$		По тангенсу от 10^{-4} до 1,0
Одинарно-двойные мосты		МДП	На высоком напряжении не ниже 3 *кв*: по тангенсу от 10^{-4} до 1, по емкости от 40 *пф* до 0,02 *мкф*
МТВ	От 10^{-6} до 10^{+6}	КМ	По сопротивлению от 1 до 10^{6}.
МОД-54	„ 10^{-5} до 10^{+5}		По емкости от 0,005 до 0,01 *мкф*.
Р329	„ 10^{-6} до 10^{+6}		То же, от 0,01 до 1,0 *мкф*.
Двойные мосты			То же, от 1 до 10 *мкф*.
МТ-5	От 10^{-6} до 11		
МД-6	„ 10^{-5} до 11		
ДМЛ-48	„ 10^{-5} до 10^{+2}		

§ 8. МИКРООММЕТР М246

Принципиальная схема микроомметра М246 показана на рис. 55. Измеряемое сопротивление присоединяется к прибору в четырех точках, обозначенных буквами *Т* и *П*. Колодка переключателя со штырями позволяет присоединять прибор к различным источникам питания — к сети переменного тока напря-

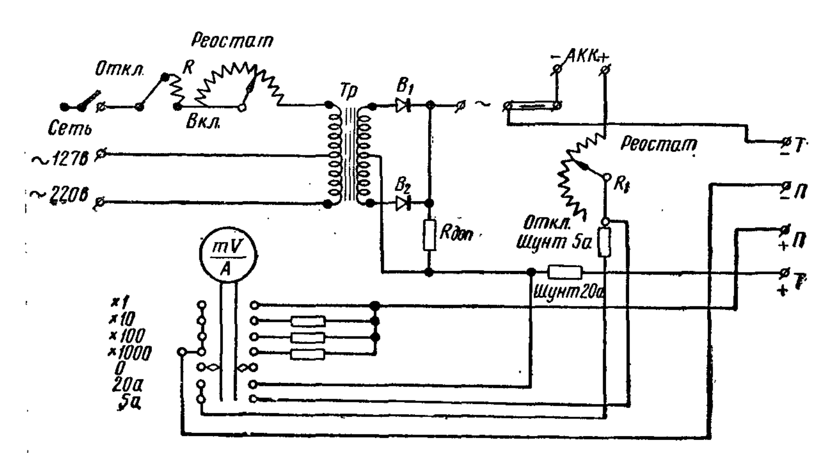


Рис. 55. Принципиальная схема микроомметра М246 для измерения сопротивлений

жением 127—220 *в* через понижающий трансформатор и селеновые выпрямители (B_1 и B_2) или же к аккумулятору напряжением 4—6 *в*.

Величина тока регулируется при питании от сети переменного тока через понижающий трансформатор *Тр* и селеновые выпрямители B_1 и B_2 реостатом переменного тока *R*, а при питании от аккумулятора — реостатом постоянного тока R_1.

Величина тока измеряется милливольтметром через шунты на 5 или 20 *а*. Падение напряжения на контактах при заданной величине тока будет пропорционально переходному сопротивлению контактов. При этом может быть измерено переходное сопротивление всех контактов, входящих в контур, или каждого в отдельности путем присоединения измерительных щупов к зажимам *П* прибора. Защита измерительного прибора от перегрузок, вызванных неправильным выбором предела измерения, осуществляется включением в измерительную цепь сопротивления более 1 *ом* или применением специальных зажимов и щупов

(рис. 56) с гибкими проводниками, служащими для присоединения измеряемого сопротивления к различным электрически не связанным точкам.

В микроомметре М246 в качестве измерительного механизма применен логометр магнитоэлектрической системы. На подвижной части прибора укреплено зеркальце, отражающее световой луч, который служит для отсчета измеряемого сопротивления на шкале.

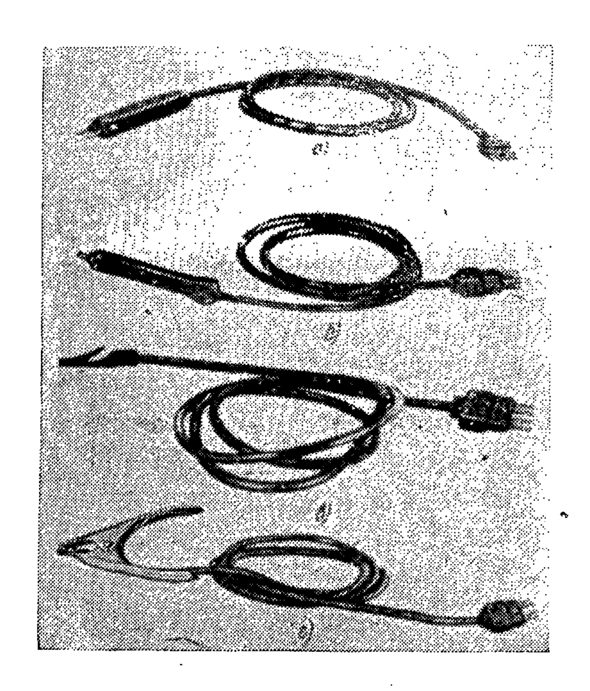


Рис. 56. Зажимы и щупы:
а — П6, *б* — П7, *в* — П8, *г* — П9

При работе с микроомметром перед измерением следует проверить отсутствие обрыва в измерительной цепи во избежание повреждения прибора. Микроомметр (рис. 57) имеет пределы измерения 100—1000 *мком*; 10—100—1000 *Мом* и основную погрешность в процентах от длины шкалы от ±2,5% до ±3,5%. Например, при измерении от 0 до 100 *мком* основная погрешность измерения составляет ± 3,5%; при измерении от 100 *мком* до 1000 *Мом* ±2,5%.

Микроомметром М246 не разрешается пользоваться при измерении сопротивлений более 1 *ом*, а также сопротивлений менее

1 *ом*, но обладающих значительной индуктивностью (обмотки статора, ротора и т. п.).

Микроомметр М246 предназначается для работы в лабораторных, цеховых или полевых условиях при температуре окружающей среды от —40° до +50°. Рабочее положение прибора — горизонтальное.



Рис. 57. Внешний вид микроомметра М246

Вес прибора составляет около 11 *кг*, а с комплектующими и запасными деталями — порядка 17 *кг*; габариты 345×275×168 *мм*.

§ 9. ПРИБОР ПКВ-13

Прибор ПКВ-13 предназначен для контроля состояния изоляции трансформаторов (определения степени увлажнения ее) по методу емкость — частота. Оценка увлажнения изоляции производится путем сравнения величины емкости, измеренной при различных частотах и неизменной температуре. Увеличение изоляции характеризуется увеличением отношения емкости, измеренной при 2 *гц*, к емкости, измеренной при 50 *гц* (C_2/C_{50}). Это отношение отсчитывается непосредственно по шкале прибора.

Прибор позволяет производить измерения емкости от 1000 до 50 000 *пф*. При измерении сопротивлений изоляции ниже 15 *Мом* прибор может давать значительную погрешность.

Схема прибора ПКВ-13 завода «Энергоприбор» приведена на рис. 58.

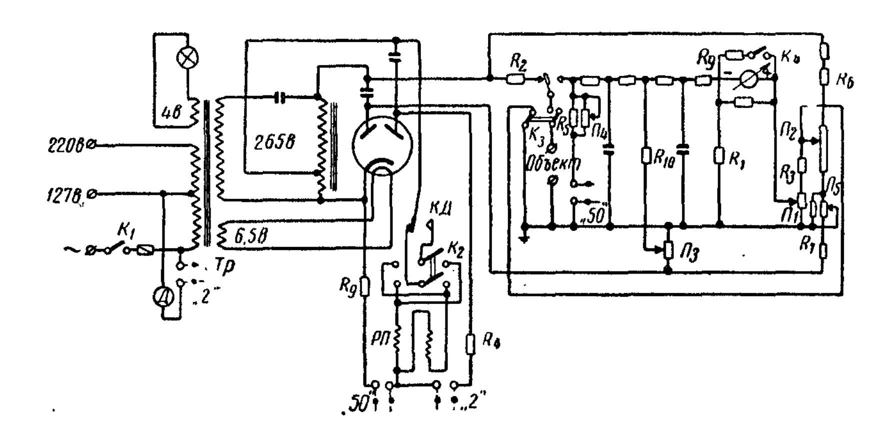


Рис. 58. Схема прибора для контроля влажности изоляции трансформатора ПКВ-13:

K_1 — выключатель сети, K_2 — переключатель полярности, K_3 — выключатель объекта, K_4 — переключатель чувствительности, «2» и «50» — контакты ключа переключателя частот (2 *гц* и 50 *гц*) $П_1$, $П_2$, $П_3$ — потенциометры, $П_4$ и $П_5$ — подгоночные потенциометры, *РП* — поляризованное реле, *КД* — контакты двигателя

§ 10. КОМПЛЕКТ ЛАБОРАТОРНЫХ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ КИП

Переносный комплект лабораторных электроизмерительных приборов КИП предназначен для точных измерений величин тока, напряжения и мощности в однофазных цепях переменного тока 50 *гц*, а также в цепях постоянного тока, т. е. для приемных и эксплуатационных испытаний электроустановок промышленных предприятий, электростанций и для различных измерений в лабораторных и цеховых условиях. В комплект входят амперметр АСТ, вольтметр АСТ-В, ваттметр АСТ-Д, добавочные сопротивления (ДВ и ДВТ) и трансформатор тока УТТ-5 для расширения пределов измерений. Все приборы помещены в чемодане. Амперметр, вольтметр и ваттметр по степени точности относятся к группе лабораторных приборов класса 0,5.

Пределы измерения КИП по току составляют от 0,5 до 600 *а* переменного тока и от 2,5 до 5 *а* постоянного тока; по напряжению — от 30 до 600 *в*; по мощности — от 0,75 до 360 *квт*

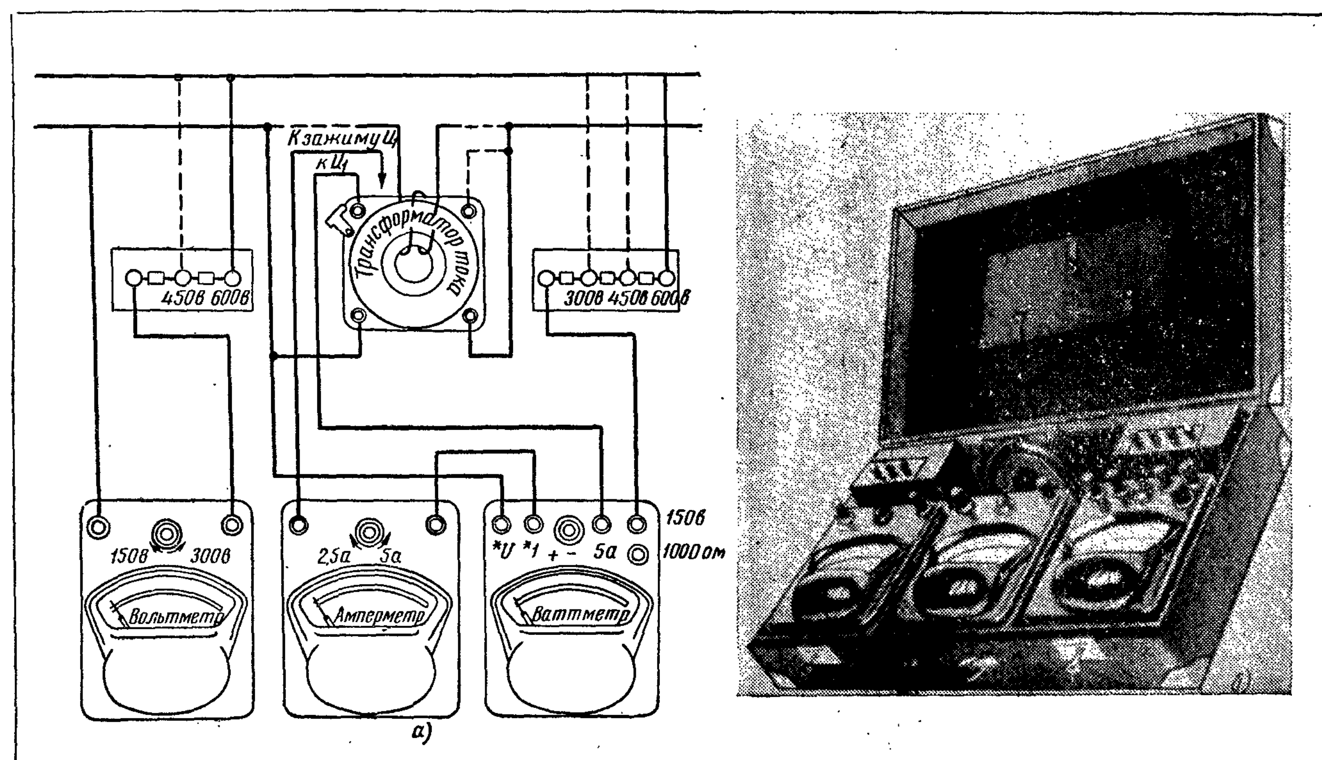
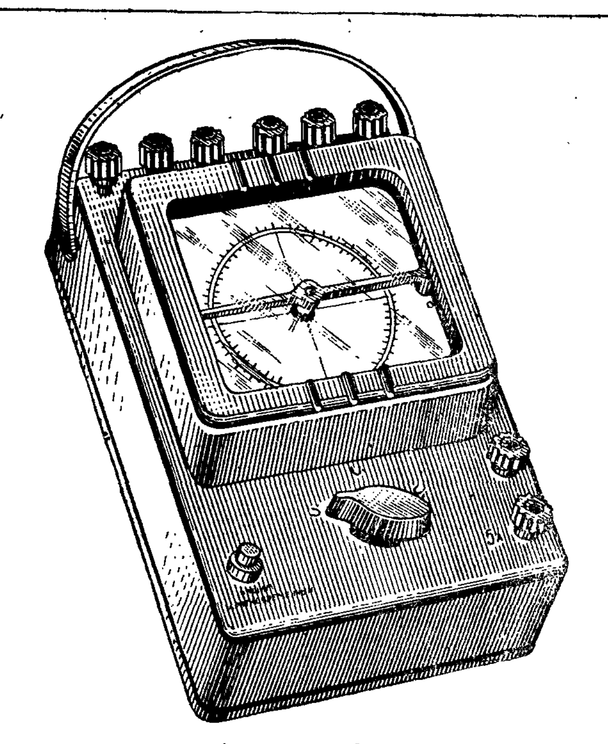


Рис. 59. Комплект измерительных приборов КИП:

а — принципиальная схема включения приборов, *б* — внешний вид КИП

7 Т. П. Лукьянов



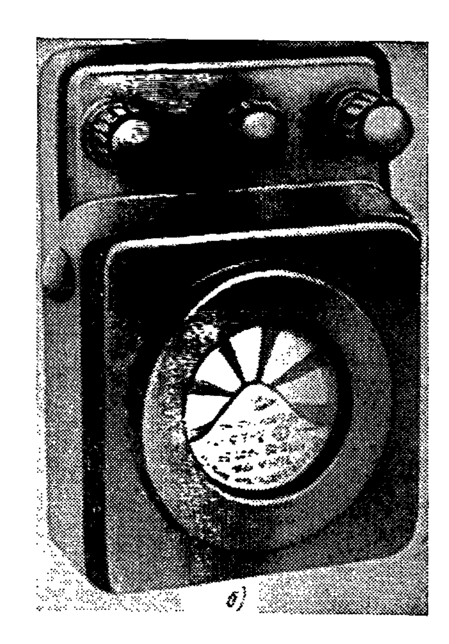


Рис. 60. Переносные фазоуказатели:

а — внешний вид прибора Э500, *б* — внешний вид прибора ФУ-2

однофазного переменного тока и от 0,75 до 3 *квт* постоянного тока.

Габаритные размеры чемодана с комплектом измерительных приборов составляют 670×390×160 *мм*; вес 15 *кг*.

На рис. 59, *а* показана принципиальная схема включения в сеть комплекта приборов КИП, а на рис. 59, *б* — его внешний вид.

§ 11. ПЕРЕНОСНЫЕ ФАЗОУКАЗАТЕЛИ

Универсальный переносный фазоуказатель Э500 предназначен для определения коэффициента мощности или величины фазного угла между векторами тока и напряжения в симметричных трехфазных сетях переменного тока частотой 50 *гц*; он также может быть использован для определения последовательности чередования фаз (рис. 60, *а*). Габаритные размеры фазоуказателя составляют 175×265×125 *мм*; вес — 3 *кг*.

Переносный фазоуказатель ФУ-2 предназначен для определения последовательности чередования фаз сети трехфазного переменного тока. Прибор представляет собой асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором. Последовательность чередования фаз определяется направлением вращения диска, укрепленного на оси ротора. Прибор ФУ-2 включают или непосредственно в сеть при напряжении до 500 *в* или через измерительные трансформаторы напряжения при напряжении сети свыше 500 *в*.

Длительность включения прибора 10 *сек* при напряжении 50 *в* и 5 *сек* при напряжении 500 *в*. Собственное потребление прибора 100 *вт* при междуфазном напряжении 500 *в*. Габаритные размеры прибора составляют 120×90×50 *мм*; вес — 0,3 *кг*. Внешний вид прибора ФУ-2 показан на рис. 60, *б*.

§ 12. САМОПИШУЩИЕ ПРИБОРЫ, ОСЦИЛЛОГРАФЫ И ОСЦИЛЛОСКОПЫ

При проведении пуско-наладочных работ и испытаний применяются переносные самопишущие приборы типа, например, Н371, Н373, Н378, Н379, Н383 и др. для регистрации величин тока, напряжения, мощности, частоты и других электрических параметров (рис. 61).

Класс точности большинства таких приборов обычно не превышает 1,5, за исключением самопишущих частотомеров Н378, у которых класс точности очень высокий — 0,2 или 0,5. Пределы измерения самопишущих приборов приведены в табл. 8.

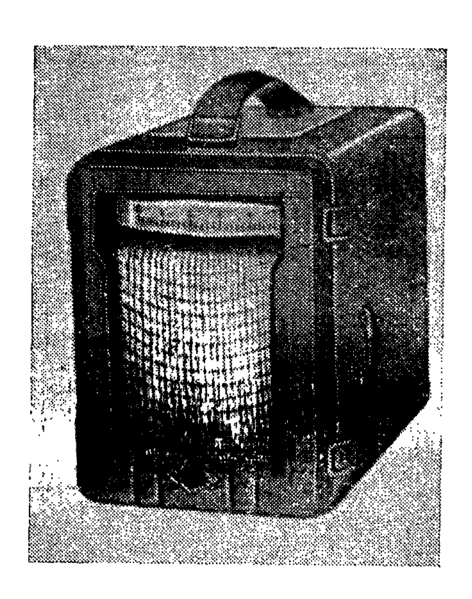


Рис. 61. Переносный самопишущий амперметр

Таблица 8

Пределы измерения самопишущих приборов

Тип прибора	Наименование прибора	Предел измерения
Н375 и Н371	Миллиамперметры	2, 5, 10, 15, 30, 50, 75, 100, 150, 300 *ма*
	Амперметры	0,5, 1, 2, 3, 5, 10, 15, 20, 30 *а*
	Амперметры	50, 75, 100, 150, 300, 500, 750 *а*;
	Амперметры	1, 1,5, 2, 3, 4, 5, 6, 7,5, 15, 25, 40, 50, 75, 150 *ка*
	Милливольтметры	75, 150, 300 *мв*
	Вольтметры	1,5; 3,5; 7,5; 15; 30, 50; 75, 150, 250, 300, 500, 600, 1000 *в*
Н376 и Н380	Амперметры	5 *а*
	Амперметры	5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 600, 800 *а*
	Килоамперметры	1; 1,5; 2; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 15 *ка*

Тип прибора	Наименование прибора	Предел измерения
	Вольтметры	150, 250, 500, 600 *в*
	Киловольтметры	4; 7,5; 12,5; 20; 40; 125; 250; 500 *кв*
Н378	Частотомеры	49—51, 48—52 и 45—55 *гц* при 100, 127, 220 и 380 *в*
Н377 и Н379	Трехфазные ваттметры активной и реактивной мощности для непосредственного включения и включения через измерительные трансформаторы	5 *а* при 100, 127, 220 и 380 *в*; 5 *а* при 100, 125, 250 и 375 *в*

Габаритные размеры щитовых приборов составляют 220×220×260 *мм*, а переносных приборов — 200×260×280 *мм*. Вес приборов не превышает 8 *кг*.

Запись показаний (рис. 62) производится на диаграммной бумаге пером, подвешенным на конце указательной стрелки *1*.

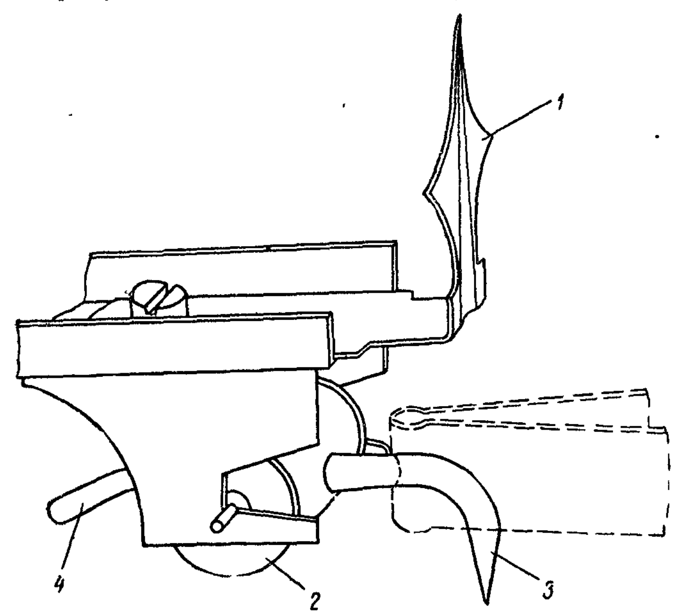


Рис. 62. Самозаписывающий механизм прибора

Перо выполнено в виде металлического цилиндра *2* со впаянным стеклянным капилляром *3*. С противоположной стороны от капилляра находится противовес *4*, служащий для создания минимального нажима пера на бумагу. Перо находится в непрерывном соприкосновении с движущейся диаграммной бумагой и чертит на ней линию, отображающую перемещение стрелки. На диаграммной бумаге (рис. 63) нанесена координатная сетка

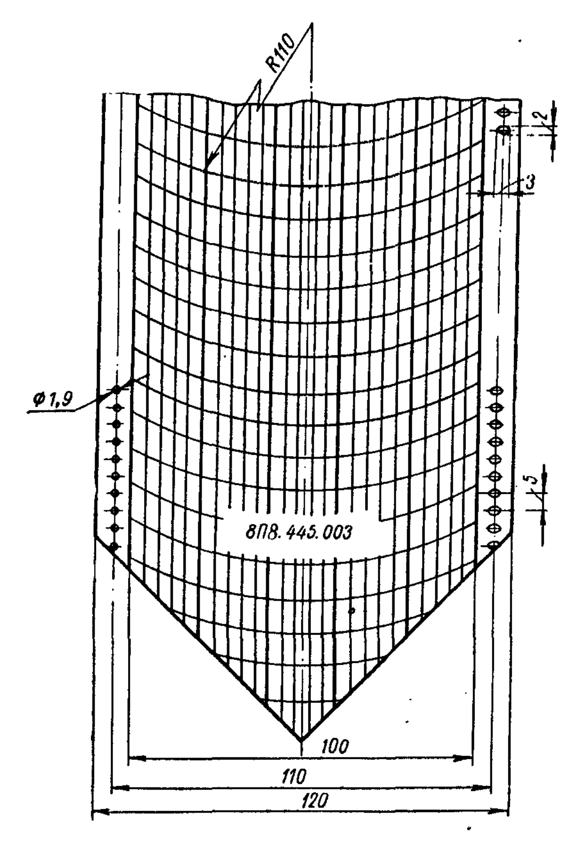


Рис. 63. Диаграммная бумага с криволинейной координатной сеткой

в криволинейных координатах. Поперечные линии координатной сетки имеют отметки часов и минут, соответствующие скорости подачи бумаги 60 *мм/ч*. Определение значения измеряемой величины по диаграммной бумаге производится с помощью масштабной линейки, на которой нанесены те же отметки, что и на шкале прибора.

Для привода диаграммной бумаги применяется синхронный электродвигатель с питанием от сети переменного тока частотой 50 *гц*, напряжением 127 или 220 *в*. Приборы имеют 6 скоростей движения диаграммной бумаги — 20, 60, 180, 600, 1800 и 5400 *мм/ч*, которые устанавливаются путем смены пары шестерен.

Однако нередко приходится производить запись процессов, которые изменяются настолько быстро, что даже самозаписывающие приборы не успевают за ними следить. В таких случаях приходится прибегать к применению специального прибора,

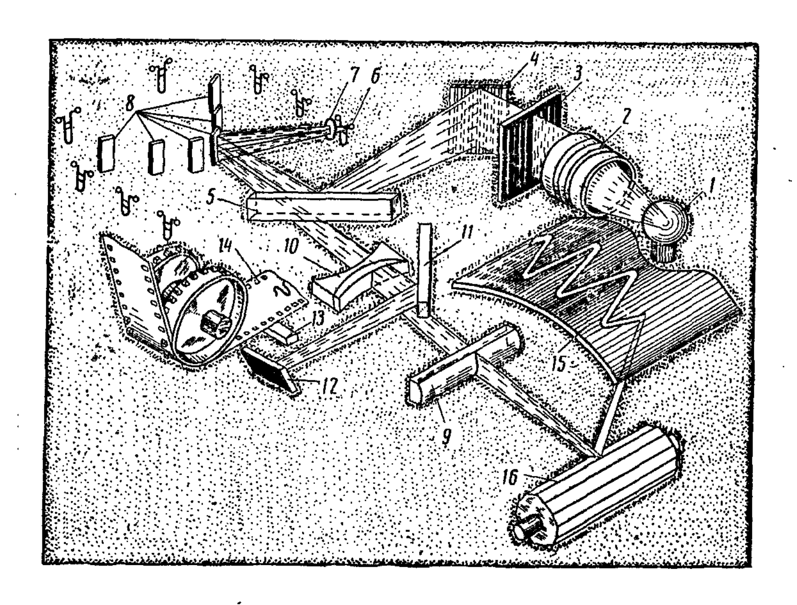


Рис. 64. Принципиальная схема оптического устройства восьмишлейфного осциллографа МПО-2

носящего название магнитоэлектрического осциллографа или электронного осциллографа (осциллоскопа). Существует большое количество конструкций отечественных осциллографов, различающихся в первую очередь количеством одновременно работающих вибраторов (от 3 до 12 и более), а также разными вспомогательными приспособлениями.

В качестве примера приведем краткое описание электромеханического осциллографа с магнитоэлектрическим измерительным механизмом.

На рис. 64 дана принципиальная схема оптического устройства восьмишлейфного универсального переносного осциллографа МПО-2 с питанием от сети переменного тока напряжением

220 или 127 *в* или постоянного тока 24 *в*. Это устройство состоит из лампы *1*, пучок света которой проходит через конденсорную линзу *2* и диафрагму *3*. Последняя делит пучок света на восемь частей. Эти пучки, отражаясь от зеркал *4*, *5* и *8*, через линзы *7* попадают на зеркала их вибраторов *6*. Лучи света, отраженные от зеркал вибраторов, проходят линзы *7* и попадают непосредственно или после отражения от зеркал *8* частично на зеркало *11* и частично на сферическую линзу *10*. Часть света, попавшая на зеркало *11*, после отражения от него и зеркала *12* фокусируется линзой *13* на пленку *14*. Другая часть света, проходя через линзы *10* и *9*, попадает на зеркальный многогранник *16*, отражаясь от которого падает на экран *15*. Этот осциллограф дает возможность фотографировать и наблюдать одновременно восемь исследуемых величин. Пленка и зеркальный барабан приводятся во вращение от однофазного двигателя. Коробка скоростей, имеющая двенадцать ступеней, дает возможность иметь различные скорости движения пленки в пределах 1—5000 *мм/сек*. В зарядную кассету может быть заложена пленка длиной до 5 *м*. Прибор снабжается ваттметровым вибратором. Для расширения пределов измерения применяется магазин шунтов и добавочных сопротивлений *Р1*. Габариты прибора: 430×570×220 *мм*; вес 35 *кг*. Общий вид осциллографа МПО-2 представлен на рис. 65.



Рис. 65. Общий вид осциллографа МПО-2

Кроме того, применяются электронные осциллографы или осциллоскопы. Электронные осциллографы или осциллоскопы в зависимости от способа получения электронного луча делятся на осциллографы с холодным и накаленным катодами.

В первых случаях для получения электронного луча используется явление электростатической (автоэлектронной) эмиссии, для чего между катодом и анодом создается электрическое поле с большой напряженностью, что требует применения высокого

напряжения (30÷70 *кв*). Эти осциллографы (осциллоскопы) имеют ограниченную область применения.

Во втором случае для получения электронного луча используется явление термоэлектронной эмиссии. В последнее время электронный осциллограф (осциллоскоп) с нагретым катодом получил широкое применение. Отечественная промышленность выпускает электронные осциллографы (осциллоскопы), например ЭО-7, у которых основной частью является электронно-лучевая трубка.

Осциллоскоп имеет приставку для проектирования кривых на экран и приставку для фотографирования на фотобумагу. Снимок имеет форму кружка диаметром 50 *мм*. Рабочее напряжение осциллоскопа 110, 127, 220 *в*; частота 50 *гц*; потребляемая мощность около 400 *ва*.

§ 13. ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ АППАРАТ С-5П-ВЭИ

Высоковольтный аппарат С-5П-ВЭИ (рис. 66) предназначен для испытания электрической прочности витковой изоляции обмоток гидрогенераторов с многовитковыми секциями и обмоток высоковольтных электродвигателей в условиях эксплуатации, когда отсутствует возможность доступа к отдельным секциям. При ремонтах высоковольтных электродвигателей и гидрогенераторов на месте их эксплуатации аппарат может быть также использован для испытания витковой изоляции обмоток до и после укладки секций в пазы.

При испытании секций до укладки в пазы напряжение на витках индуктируется при помощи замкнутых электромагнитов, в которые закладываются испытываемые секции. При испытании секций после укладки в пазы напряжение на испытываемые секции подается через высоковольтный трансформатор при помощи специальных щупов.

Потребляемая мощность аппарата 0,44 *ква*, потребляемый ток 2 *а*. Питание аппарата осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 *в*.

Номинальное импульсное напряжение на выходе аппарата равно 3÷10 *кв*, номинальное импульсное испытательное напряжение (*кв*) на виток равно: при испытании многовитковых секций гидрогенераторов и высоковольтных электродвигателей в условиях эксплуатации (в зависимости от типа обмотки, качества изоляции и воздушного зазора) 0,45—1; при испытании секции до укладки в пазы 1,5; при испытании секций после укладки в пазы (в зависимости от числа витков в секции) 0,5—1,0.

Для удобства переноски и эксплуатации аппарат выполнен из отдельных блоков.

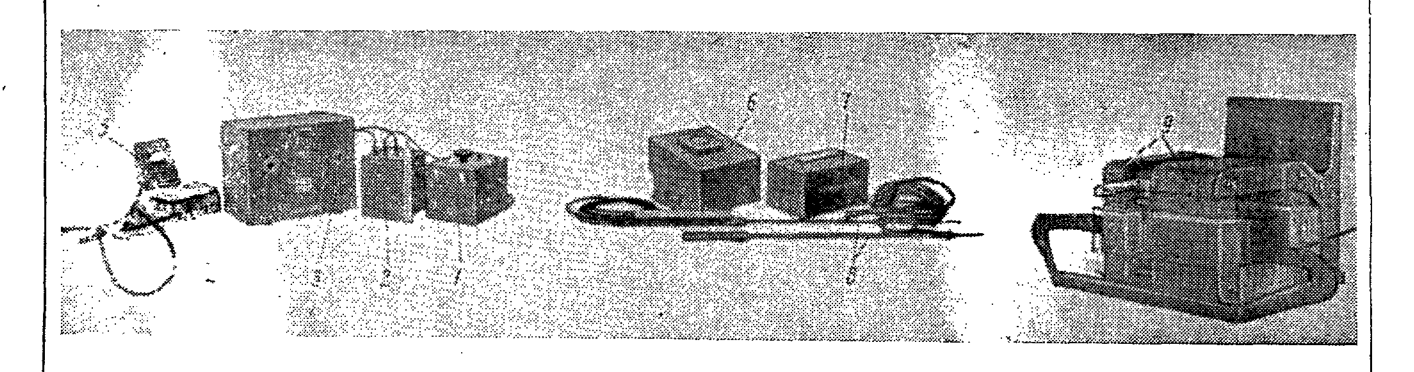


Рис. 66. Общий вид высоковольтного аппарата С-5П-ВЭИ:

1 — пульт управления, *2* — трансформатор импульсного генератора, *3* — импульсный генератор, *4* — электромагниты, *5* — сигнальное устройство, *6* — амплитудный вольтметр, *7* — повышающий высоковольтный трансформатор, *8* — щупы, *9* — замкнутые электромагниты

§ 14. АППАРАТ ЕЛ1

Аппарат ЕЛ1 (рис. 67) предназначен для: обнаружения витковых замыканий в обмотках электрических машин и аппаратов; нахождения паза с короткозамкнутыми витками в обмотках статоров, роторов и якорей электрических машин; проверки правильности маркировки выводных концов фазных обмоток электрических машин; проверки правильности соединения обмоток

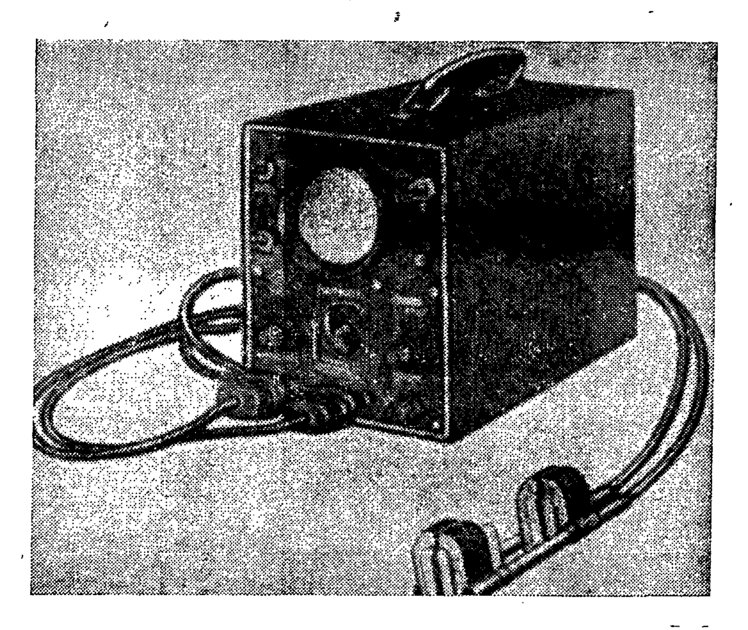


Рис. 67. Внешний вид аппарата ЕЛ1

электрических машин по схеме; выявления обрывов в обмотках электрических машин и аппаратов. Аппарат собран в металлическом кожухе с ручкой для переноски. На передней панели аппарата расположены ручки управления, зажимы для присоединения испытуемых обмоток или приспособления для нахождения паза с короткозамкнутыми витками, экран электронно-лучевого индикатора. Паз с короткозамкнутыми витками обнаруживается с помощью специального приспособления методом индуктирования. Остальные дефекты определяются методом сравнения по раздвоению кривой на экране аппарата. Питание аппарата можно осуществлять от сети как 127, так и 220 *в* переменного тока частотой 50 *гц*. Потребляемая мощность составляет около 80 *вт*, вес аппарата — не более 9,5 *кг*, габариты — не более 170×250×330 *мм*.

§ 15. ОБОРУДОВАНИЕ ПЕРЕДВИЖНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ

Передвижные лаборатории предназначены для пуско-наладочных и профилактических испытаний электрооборудования, для чего они снабжаются необходимыми приборами и оборудованием. К таким лабораториям предъявляются следующие основные требования: возможность быстрой подготовки лаборатории к испытаниям; надежность оборудования и приборов при транспортировке; обеспечение минимальных погрешностей при измерениях; максимальная безопасность при производстве испытаний.

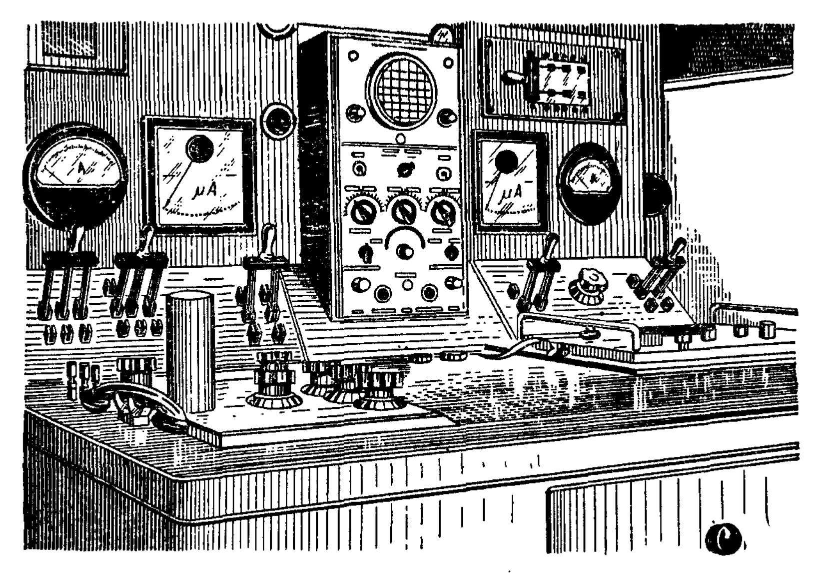
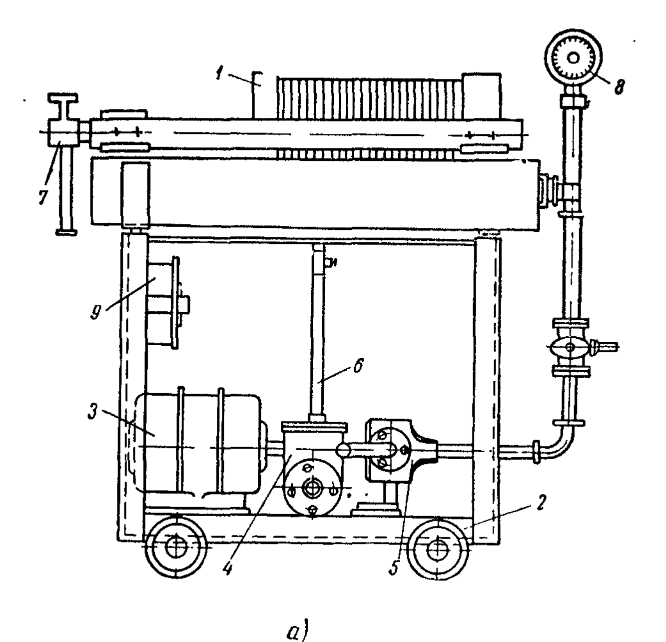


Рис. 68. Внешний вид пульта управления передвижной лаборатории

Передвижные лаборатории монтируются в кузове автомашины повышенной проходимости. Помещение кузова разделяется перегородкой на две части: в одной из них монтируется высоковольтная часть оборудования, в другой — низковольтная часть и пульт управления (рис. 68).

Для повышения безопасности при работе и сокращении времени, необходимого для переключения схем при испытании оборудования, предусматривается установка специальных переключателей, позволяющих производить переключения на стороне высокого напряжения с пульта управления при переходе от одной схемы испытания к другой.



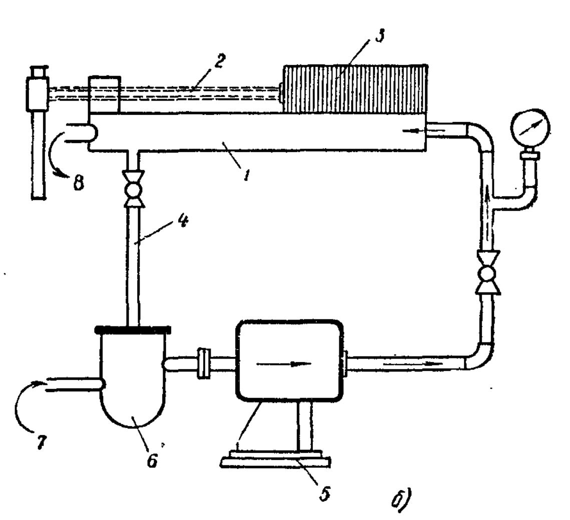


Рис. 69. Фильтрпресс масляный:

а — внешний вид: *1* — масляный фильтр, *2* — рама-тележка, *3* — электродвигатель, *4* — грязевой фильтр, *5* — насос, *6* — труба, соединяющая грязевой фильтр, насос и масляный фильтр, *7* — червячный винт для прижима наборных секций масляного фильтра, *8* — манометр, *9* — пускатель электродвигателя; *б* — принципиальная схема: *1* — масляный фильтр, *2* — винт прижима, 3 — наборные секции, *4* — труба слива, *5* — насос, *6* — грязевой фильтр, *7* — вход грязного масла, *8* — выход очищенного масла

§ 16. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СУШКИ И ПРОВЕРКИ МАСЛА

Фильтрпресс масляный. Фильтрпресс (рис. 69) предназначен для фильтрации в нагретом состоянии трансформаторного масла при наличии в нем смолистости, повышенной кислотности и механических примесей.

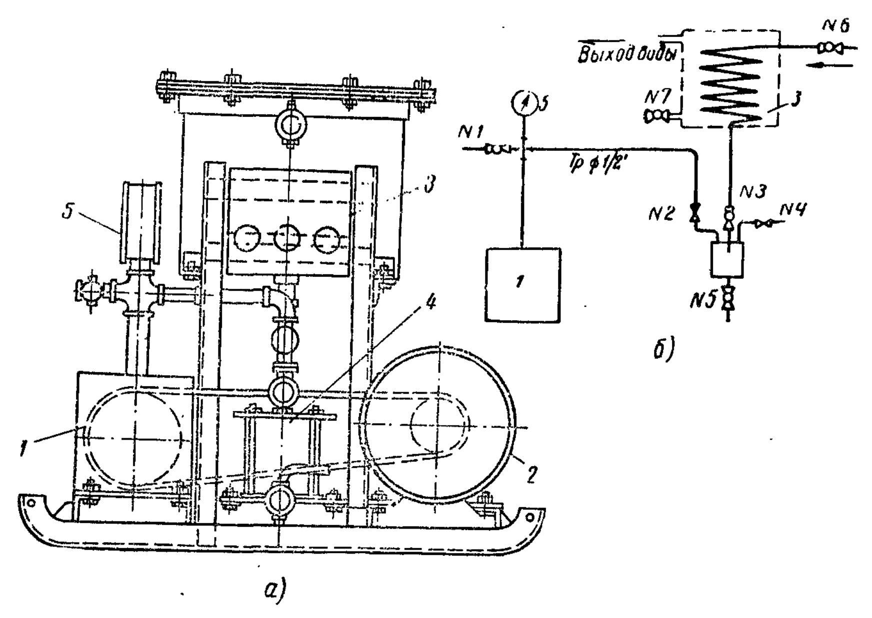


Рис. 70. Передвижная вакуумная установка:

а — внешний вид установки: *1* — вакуумный насос, смонтированный на раме, *2* — электродвигатель, *3* — конденсатор, *4* — сборник конденсата, *5* — вакуумметр; *б* — принципиальная схема размещения кранов установки: № *1* — редукционный кран, № *2* — кран насоса, № *3* — кран конденсатора, № *4* — кран для выпуска воздуха при выпуске конденсата, № *5* — кран для выпуска конденсата, № *6* — кран входной для насыщенного пара, поступающего из кожуха трансформатора, № *7* — кран для подвода охлаждающей воды из водопровода

Фильтрпресс имеет следующие характеристики: производительность — 1500 *л/ч*; мощность электродвигателя — 0,8 *квт*; рабочее давление — 1,2—3,3 *кг/см*^{2}; наибольшее допустимое давление — 4 *кг/см*^{2}; габариты — 1020×1050×580 *мм*.

Передвижная вакуумная установка (рис. 70, *а*) предназначена для создания вакуума внутри кожуха трансформатора при сушке и имеет следующие технические характеристики: производительность вакуумного насоса при 500 *об/мин* — 1500 *л/ч*; мощность электродвигателя — 0,25 *квт;* максимальная производительность конденсатора — 12 000 *ккал/ч*; расход воды для охлаждения змеевика — 630 *л/ч*; габариты — 670×750×410 *мм*; общий вес установки — 65 *кг*.

С помощью кранов (рис. 70, *б*) можно при различных схемах соединений трубопровода менять режим работы вакуумной установки согласно табл. 9.

Таблица 9

Режим работы вакуумной установки

Различные схемы соединения установки	№ кранов в положении	
	закрыто	открыто
Первоначальное положение, при котором давление в кожухе трансформатора и в коммуникациях равно атмосферному — установка готова к работе	2, 5, 4	3, 6
Рабочее положение, при котором давление в кожухе трансформатора и в коммуникациях меньше атмосферного и составляет величину, допустимую для данного типа кожуха (величина вакуума регулируется автоматически редукционным краном)	5, 4	2, 3, 6
Выпуск конденсата из сборника при рабочем положении вакуумной установки	2, 3	4, 5, 6
Конечное положение при окончании сушки (вакуум доводится до давления, равного атмосферному)	2, 5	3, 4, 6

Маслоочистительная машина центробежного типа ТС-20 (рис. 71) предназначена для очистки трансформаторного масла от воды и механических примесей. Она имеет следующие технические характеристики: производительность — 1500 *л/ч*; потребляемая мощность электроподогревателя — 25—30 *квт;* мощность электродвигателя 1,75—2,2 *квт;* давление масла на выходе из насоса — 3,5 *кг/см*^{2}; электрическая прочность очищенного масла, *кв*:

после одного цикла сепарации — 15—20;
после двух циклов сепарации — 25—30;
после трех циклов сепарации — 30.

Маслоочистительная машина смонтирована на тележке, служащей для передвижения машины при эксплуатации.

Аппараты АМИ. Аппаратом АМИ-60 проверяется электрическая прочность трансформаторного масла и других жидких диэлектриков переменным синусоидальным напряжением до 60 *кв* при частоте 50 *гц*. Принципиально-монтажная схема электрических соединений аппарата АМИ-60 показана на рис. 72.

В аппарате установлен трансформатор, первичная обмотка которого (127/220 *в*) питается через регулировочный автотрансформатор, позволяющий плавно менять напряжение. Мощность аппарата составляет 3 *ква*. Высота аппарата — 880 *мм*, длина по фасаду — 525 *мм*, глубина — 525 *мм*.

Аппарат выполнен в виде пульта, передвигаемого на четы-

рех колесах. Трансформатор расположен внутри пульта. Средняя точка вторичной обмотки его (60 *кв*) заземлена. На высоковольтных выводах трансформатора смонтированы две металлические стойки, на которых устанавливается фарфоровая банка с двумя электродами емкостью 0,5 *л* с испытываемым маслом. Расстояние между электродами 2,5 *мм*. Эта банка

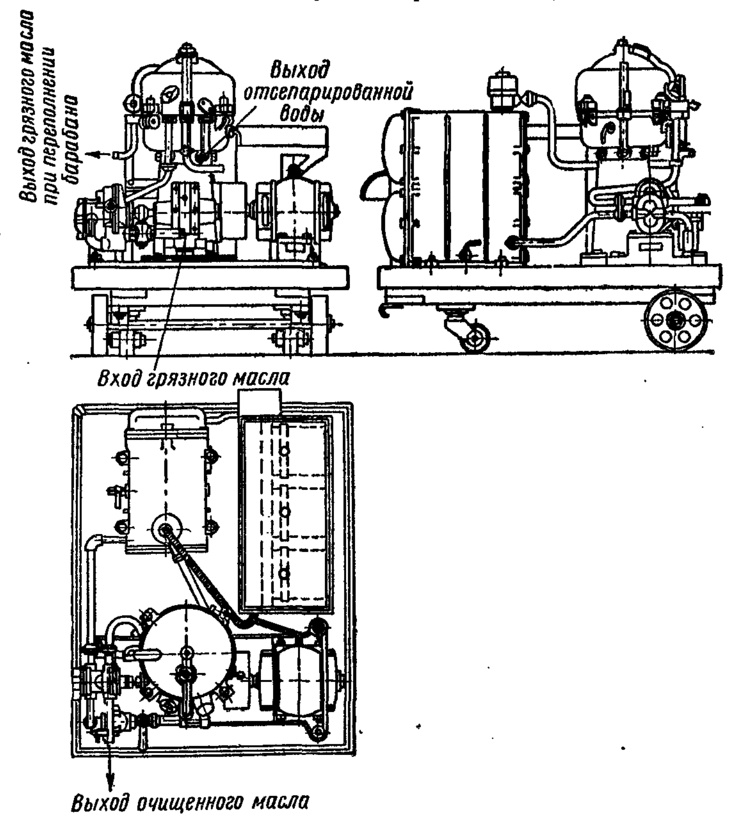


Рис. 71. Маслоочистительная машина центробежного типа ТС-20

вставляется через отверстие в крышке, имеющей смотровое стекло. Откидная крышка имеет два блок-контакта, которые при открывании крышки разъединяют цепь первичной обмотки регулировочного автотрансформатора во избежание попадания персонала под высокое напряжение.

Регулировочный автотрансформатор, кроме основной обмотки, предназначенной для питания высоковольтного трансформатора, имеет обмотку для питания двух сигнальных лампочек — зеленой и красной — напряжением 6 *в*. Под крышкой пульта

расположен максимальный автоматический выключатель; рычажок его выведен наружу с правой стороны крышки. Главный контакт этого выключателя предназначен для замыкания цепи первичной обмотки высоковольтного трансформатора; имеющийся сигнальный контакт служит для включения красной сигнальной лампы.

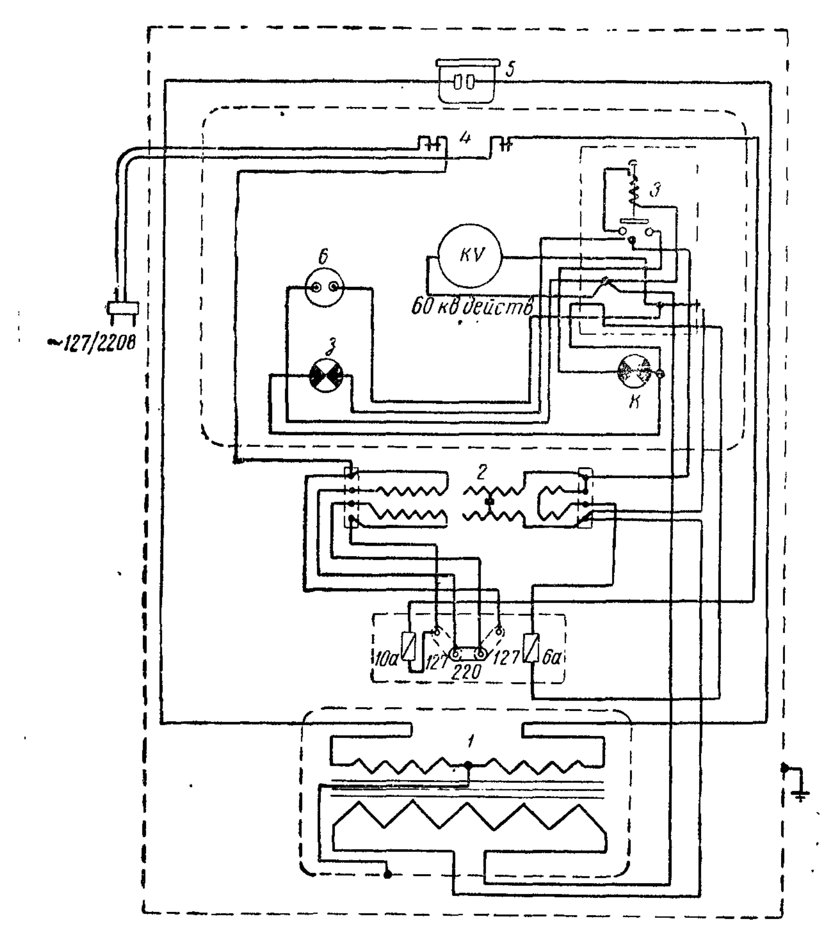


Рис. 72. Принципиально-монтажная схема электрических соединений аппарата АМИ-60:

1 — высоковольтный трансформатор, *2* — регулировочный трансформатор, *3* — автоматический выключатель; *4* — блок-контакты, *5* — банка с электродами, *6* — розетка для включения контрольного вольтметра

Аппарат присоединяется к сети при помощи шнура со штепсельной вилкой.

Глава третья

ИСПЫТАНИЕ И НАЛАДКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

§ 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ МАШИНАМ

Щиток электрической машины. Перед началом испытаний необходимо внимательно ознакомиться с заводскими данными электрической машины, которые указываются на ее щитке. К ним относятся: наименование ведомства, в систему которого входит завод-изготовитель; наименование или товарный знак завода-изготовителя; тип машины; заводской номер машины; номинальные данные машины; год выпуска; вес машины в килограммах; номер ГОСТ.

Номинальные данные и основные определения электрических машин (по ГОСТ 183—55). Номинальными данными электрической машины называются данные, указанные на заводском щитке электрической машины. Они характеризуют ее номинальный режим работы, например: номинальная мощность, номинальное напряжение, номинальный ток, номинальная скорость вращения. Термин «номинальный» может применяться и к данным, не указанным на электрическом щитке электрической машины, но относящимся к ее номинальному режиму работы, например: номинальный момент вращения, номинальное скольжение. При переменном токе под напряжением и током, если нет иных указаний, понимаются их действующие значения. Номинальные данные машины относятся к ее работе при температуре окружающего воздуха до +35° и высоте над уровнем моря до 1000 *м*.

Номинальным режимом работы электрической машины называется режим работы, для которого машина предназначена заводом-изготовителем и при котором она должна работать в течение всего срока службы.

Продолжительным номинальным режимом работы электрической машины называется режим ее работы при неизменной номинальной нагрузке, продолжающейся столько времени, что

превышения температуры всех частей электрической машины при неизменной температуре охлаждающей среды достигают практически установившихся значений.

Кратковременным номинальным режимом работы электрической машины является режим ее работы, при котором периоды неизменной номинальной нагрузки при неизменной температуре охлаждающей среды чередуются с периодами отключения машин; при этом периоды нагрузки не настолько длительны, чтобы превышения температуры всех частей электрической машины могли достигнуть практически установившихся значений, а периоды останова электрической машины настолько длительны, что все части ее приходят в практически холодное состояние.

Повторно-кратковременным номинальным режимом работы электрической машины называют такой режим ее работы, при котором кратковременные периоды неизменной номинальной нагрузки при неизменной температуре охлаждающей среды чередуются с кратковременными периодами отключения машины (паузами), причем как рабочие периоды, так и паузы не настолько длительны, чтобы превышения температуры отдельных частей электрической машины могли достигнуть установившихся значений. Повторно-кратковременный номинальный режим работы характеризуется относительной продолжительностью включения, т. е. отношением продолжительности рабочего периода к продолжительности цикла (суммарной продолжительности рабочего периода и паузы). Относительная продолжительность включения обозначается через ПВ. Согласно стандарту ПВ составляет 15, 25, 40 и 60% с продолжительностью одного цикла не более 10 *мин.*

За номинальную мощность электрической машины принимается: для генераторов постоянного тока — полезная электрическая мощность на зажимах машины, выраженная в ваттах или в киловаттах; для генераторов переменного тока — полная (кажущаяся) электрическая мощность на зажимах машины при номинальном коэффициенте мощности, выраженная в вольтамперах или в киловольтамперах; для электродвигателей — полезная механическая мощность на валу, выраженная в ваттах или киловаттах; для синхронных компенсаторов — реактивная мощность на зажимах компенсатора, выраженная в вольтамперах реактивных или киловольтамперах реактивных. Номинальной мощностью синхронного компенсатора считается его реактивная мощность при опережающем токе.

Номинальным напряжением трехфазной электрической машины называется междуфазное (линейное) напряжение ее.

Номинальным напряжением возбудительной системы электрической машины с независимым возбуждением называется но-

минальное напряжение того независимого источника питания, от которого получается возбуждение.

Номинальным напряжением возбуждения называется напряжение на зажимах или контактных кольцах обмотки возбуждения при питании ее номинальным током возбуждения.

Номинальным током возбуждения электрической машины называется ток возбуждения, соответствующий номинальному режиму работы электрической машины. Наибольшим рабочим током синхронной электрической машины называется ток обмотки якоря, длительно допустимый при 95% номинального напряжения.

Нагрузкой электрической машины называется мощность, которую развивает электрическая машина в данный момент времени. Нагрузка выражается в ваттах или киловаттах, либо в вольтамперах, киловольтамперах, а также в процентах или в долях номинальной мощности. При нагрузке, равной номинальной мощности, пользуются термином «номинальная нагрузка». Нагрузка может быть задана током, потребляемым или отдаваемым электрической машиной в данный момент времени, и выражена в амперах, процентах или в долях номинального тока.

Рабочей температурой отдельной части электрической машины называется практически установившаяся температура этой части электрической машины, соответствующая номинальному режиму работы электрической машины при неизменной температуре охлаждающей среды (воздуха).

Расчетной рабочей температурой называется температура, равная 75°, к которой приводят температуру частей электрической машины при подсчете потерь мощности в ней. Холодным состоянием электрической машины называется состояние, при котором температура любой ее части отличается от температуры охлаждающей среды (воздуха) не более чем на 3°. Превышением температуры какой-либо части электрической машины называется разность между температурой этой части и температурой охлаждающей среды (воздуха).

Установившейся температурой какой-либо части электрической машины называется ее температура, изменение которой в течение 1 *час* не превышает 1° при условии, что нагрузка машины и температура охлаждающей среды (воздуха) остаются неизменными.

Направление вращения электрической машины с горизонтальным валом и с односторонним приводом считается по часовой стрелке (правое вращение) или против часовой стрелки (левое вращение), если смотреть на электрическую машину со стороны первичного электродвигателя или рабочего механизма.

Чтобы иметь общие представления о современных машинах, ниже приводятся некоторые сведения по наиболее характерным

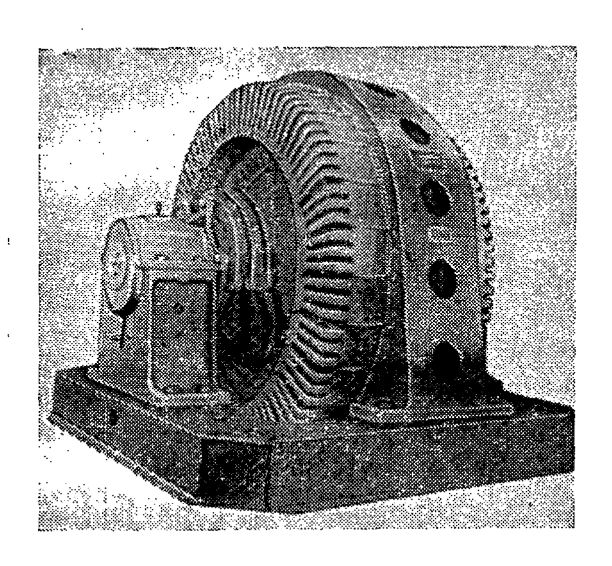


Рис. 73. Внешний вид асинхронного электродвигателя серии АТ в открытом исполнении

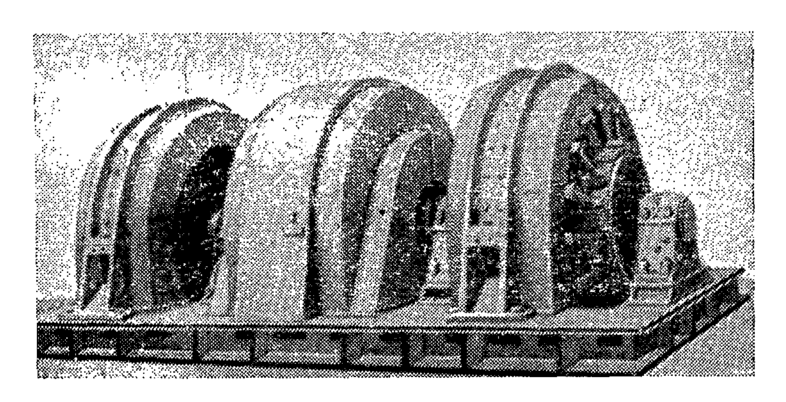


Рис. 74. Внешний вид преобразовательного агрегата мощностью 7500 *ква*

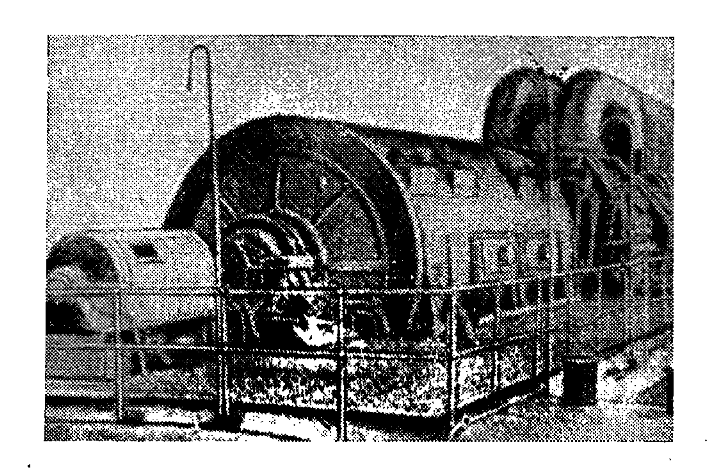


Рис. 75. Внешний вид турбогенератора ТВ2-150/2 мощностью 150 000 *квт*

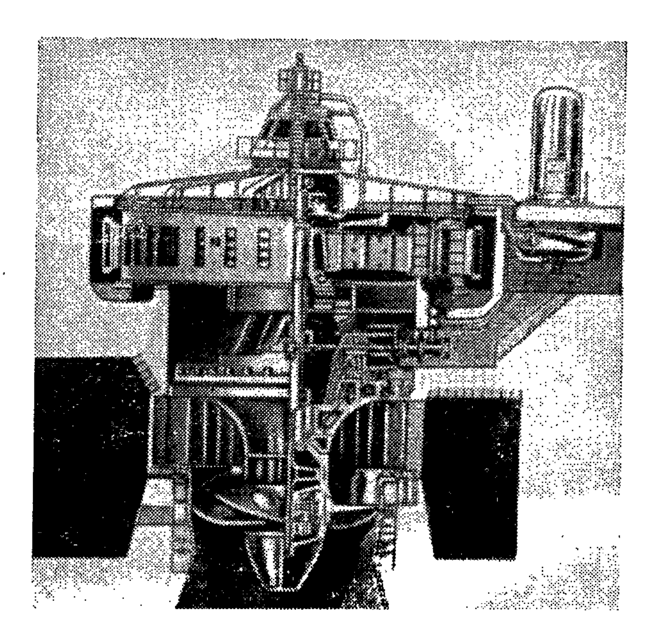


Рис. 76. Разрез турбины Волжской ГЭС им. В. И. Ленина

из них: на рис. 73 показан внешний вид асинхронного электродвигателя серии АТ в открытом исполнении: мощность 3600 *квт*, напряжение 6000 *в*, скорость вращения 500 *об/мин*; на рис. 74 — внешний вид преобразовательного агрегата, состоящего из асинхронного электродвигателя СМ-7500-375 (в центре): мощность 7500 *ква*, напряжение 6000 *в*, скорость вращения 375 *об/мин*; по сторонам его — два генератора постоянного тока: мощность по 3000 *квт* каждый и напряжением 750 *в*; на рис. 75 — внешний вид турбогенератора ТВ2-150/2: мощность 150 000 *квт*, с водородным охлаждением, скорость вращения 3000 *об/мин* и, наконец, на рис. 76 — разрез турбины и гидрогенератора Волжской ГЭС имени В. И. Ленина: мощность 115 000 *квт*, напряжение 13,8 *кв*, скорость вращения 68,2 *об/мин*.

§ 2. ОСНОВНЫЕ УКАЗАНИЯ ПО ИСПЫТАНИЯМ И НАЛАДКЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Выбор видов испытаний машин должен в каждом отдельном случае производиться наладчиками в соответствии с действующими правилами и стандартами, а также в зависимости от конкретных условий и тех задач, которые были поставлены перед наладчиком.

Наладочные испытания электрических машин выполняются в основном в следующем объеме: внешний осмотр; проверка механической части; измерение сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса машины и между обмотками; измерение сопротивления постоянному току обмоток в практически холодном состоянии; проверка правильности маркировки выводных концов; испытание электрической прочности изоляции обмоток относительно корпуса машины и между обмотками повышенным напряжением; испытание электрической прочности междувитковой изоляции обмоток; определение зоны безыскровой коммутации (для машин с добавочными полюсами) и проверка исправности коммутации; пробный пуск машины, проверка свободного хода и контроль работы механической части на холостом ходу; снятие характеристик холостого хода, короткого замыкания, нагрузочной и регулировочной.

В зависимости от типа и назначения машины приведенный объем наладочных работ может быть несколько изменен. Обычно он определяется в соответствии с действующими ведомственными инструкциями.

Внешний осмотр машины и проверка ее состояния. Прежде чем приступить к наладочным испытаниям машины, следует убедиться в том, что она находится в состоянии, пригодном для этих испытаний, что ее установка, паспортные данные соответствуют проекту и ГОСТ. Для этого налад-

чику необходимо ознакомиться с монтажными чертежами, с результатами заводских испытаний и другими документами, если они имеются в наличии, характеризующими машину.

Непосредственной целью внешнего осмотра является проверка комплектности ее сборки и отсутствия явных повреждений. Перед осмотром машины ее продувают сжатым воздухом давлением не свыше 2 *ат* (без применения металлических мундштуков) или ручными мехами. Продувка производится сухим и чистым воздухом во избежание отпотевания и загрязнения обмотки; воздух необходимо каждый раз перед продувкой проверять направлением струи на какую-либо чистую поверхность.

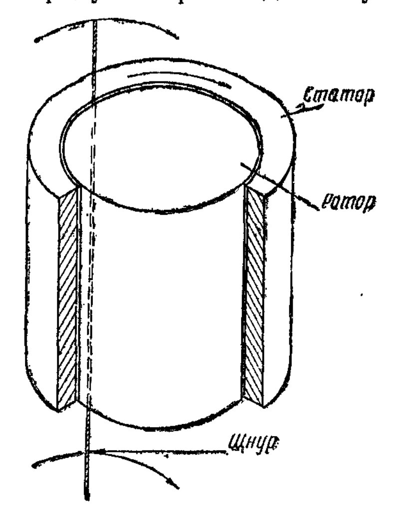


Рис. 77. Приспособление для проверки наличия посторонних предметов в зазоре

Затем машину тщательно осматривают, освещая ее переносной лампой, и проверяют отсутствие в машине посторонних предметов, главным образом в зазоре, между статором и ротором машины; эта проверка осуществляется путем протягивания шнура по окружности зазора вокруг ротора машины согласно рис. 77.

При внешнем осмотре статора машины переменного тока главное внимание обращается на целость изоляции лобовых частей обмотки, наличие и исправность бандажей и распорок между ними. Отдельно осматриваются выводные концы и коробки выводов, в которых очень часто встречаются различные нарушения изоляции; при этом необходимо обратить внимание на достаточность расстояния между токоведущими частями и корпусом. В случае применения фарфоровых изоляторов надлежит убедиться в отсутствии у них трещин и других дефектов; поврежденные изоляторы должны быть сменены.

У ротора машины переменного тока в первую очередь осматриваются лобовые части изолированных обмоток и проволочные бандажи на них. В роторах синхронных машин с явно выраженными полюсами, намотанными голой медью, гнутой на высокое ребро, проверяется отсутствие забоин на поверхности обмотки, которые могут вызвать замыкание соседних витков. Далее проверяется состояние контактных колец, которые не должны иметь трещин, вмятин, царапин и т. п.; изоляция контактных колец между собой и от корпуса (вала) не должна

иметь видимых нарушений и загрязнений. Если на роторе имеется короткозамкнутая обмотка, следует осмотреть места соединения стержней обмотки с короткозамыкающими кольцами или пластинами.

При наличии болтовых соединений короткозамыкающих колец, вентиляторов и вентиляционных лопаток следует проверить их затяжку; следует также проверить и крепление балансировочных грузиков, если они имеются.

При осмотре магнитной системы машины постоянного тока прежде всего необходимо осмотреть состояние изоляции всех обмоток и их выводов, а также проверить правильность установки главных и добавочных полюсов; расстояния между краями их башмаков не должны отличаться друг от друга более чем на 1—2 *мм.*

У машин с компенсационной обмоткой и разъемной станиной, состоящей из двух половин, следует тщательно проверить, плотно ли прилегают одна к другой верхняя и нижняя половины станины.

У якоря машины постоянного тока, помимо осмотра изоляции лобовых частей обмотки, бандажей на лобовых частях и клиньев в пазах, следует обратить особое внимание на коллектор. Его поверхность должна быть чистой и ровной, без вмятин и царапин, западающих и выступающих пластин. Как правило, изоляция между пластинами должна быть выбрана на глубину 1—2 *мм,* а с краев пластин снята фаска шириной около 0,5—1 *мм.* В промежутках между пластинами не должно быть медных стружек, опилок и грязи, особенно у коллекторов крупных машин, так как они нередко служат причиной сильного искрения и даже образования кругового огня, который может повредить коллектор, щеточный аппарат и окружающие детали. Следует также тщательно осмотреть места всех паек коллектора, которые не должны иметь видимых изъянов.

Все обнаруженные при осмотре машины дефекты должны записываться в специальном журнале производства наладочных работ; это необходимо для последующей проверки работы электрической машины.

Проверка механической части электрической машины. Перед проведением испытаний электрических машин должна быть закончена наладка их механической части, а именно: центровка валов, балансировка вращающихся частей, проверка зазоров в подшипниках и соответствие сорта и качества смазочного масла типу машины и условиям, в которых она будет работать. Как правило, наладка механической части крупных электрических машин выполняется специализированными организациями, проводящими монтаж при участии представителя от завода-изготовителя. Однако при проведении наладочных работ в отдельных случаях может потребоваться

участие наладчиков в проверке механической части электрических машин.

Перед пуском машины проверяется прежде всего состояние подшипников. При осмотре подшипников скольжения с кольцевой смазкой следует убедиться, что смазочные кольца находятся на своих местах, свободно висят на валу, зажаты вкладышами, на них нет вмятин или заусенцев. В разъемных смазочных кольцах обязательно проверяется совмещенность половин, так как выступающие края способствуют затормаживанию колец во время работы. При дисковой смазке следует проверить, достаточно ли свободно сидит в гнезде скребок, снимающий масло с диска, не засорены ли отверстия для стока масла. Следует также проверить наличие и уровень масла в подшипниках, соответствие его сорта типу машины и подшипника и состояние уплотнений, препятствующих вытеканию масла из подшипников. В подшипниках качения следует проверить правильность их сборки и заправку смазки.

В электрических машинах общего назначения и большинстве машин специального назначения для смазки подшипников применяются антифрикционные консистентные смазки (густое смазочное вещество с уменьшенным трением). В некоторых машинах специального назначения используются также жидкие масла. Жидкую смазку в подшипник вводят каплями со стержня диаметром порядка 0,5 *мм*. Количество капель и периодичность добавки указываются в паспорте машины. Консистентная смазка закладывается в подшипниковый узел. Ее количество не должно превышать $^2/_3$ свободного пространства подшипникового узла. Для машин специального назначения количество смазки и частота добавки устанавливаются испытаниями и указываются в паспорте машины. Для подшипников закрытого типа, заполненных смазкой на заводе, в условное обозначение введен индекс: подшипники с индексом С1 заполняются смазкой ОКБ-122-7, подшипники с индексом С2 — смазкой ЦИАТИМ-221, подшипники без индекса С — смазкой ЦИАТИМ-201. Для смены смазки в подшипниках, имеющих резиновые уплотнения (типы 180 000 и 160 000), их необходимо демонтировать. В закрытых подшипниках типа 80 000 и в подшипниках с фетровыми уплотнениями (типа 520 000 и 140 000) смазка только пополняется, ввиду того, что эти подшипники не промываются.

Приспособление для добавления смазки в подшипники типа 80 000 показано на рис. 78, *а*. Смазываемый подшипник *8* кладут на подставку *1*, чтобы из него могла вытекать старая смазка. Устанавливают выступ *3* головки *2* во внутренний диаметр подшипника так, чтобы наружное кольцо вошло в выточку на торце головки *2*. Нажимом на рычаг *4* опускают поршень *5* и под его давлением смазка из полости *6* по отверстиям *7* в головке *2* попадает через зазор между защитной шайбой подшип-

ника и внутренним кольцом в полость подшипника. Смазка подается до тех пор, пока свободное пространство внутри подшипника полностью не заполнится и свежая смазка не появится с другой стороны подшипника.

В первые 30—60 *мин* работы подшипника из него будет сбрасываться излишек смазки, поэтому если по условиям работы машины попадание смазки внутрь машины недопустимо, то необходимо сделать обкатку подшипника на стенде.

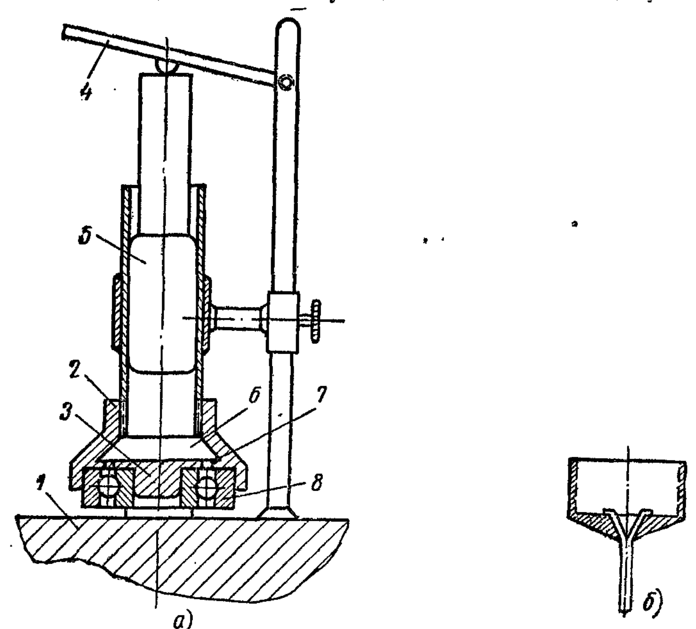


Рис. 78. Приспособление для добавления смазки в подшипники:

а — для подшипников типа 80 000, *б* — для подшипников типов 180 000 и 160 000

Для подшипников типов 180 000 и 160 000, если у них имеется массивный сепаратор, то после промывки смазку необходимо закладывать внутрь подшипника к его рабочим частям. Это обеспечивает надежную работу подшипника, особенно в первые часы работы. Для закладки смазки можно также пользоваться довольно простым приспособлением, заменив головку *2* (рис. 78, *а*) на головку с иглой (рис. 78, *б*). Вставив иглу в зазор между сепаратором и внутренним кольцом, вдавливают смазку внутрь подшипника, медленно поворачивая его для равномерного распределения смазки. В подшипниках данного типа набивка смазки осуществляется с помощью шприца, что дает возможность вводить строго определенное количество смазки пу-

тем закладывания смазки только для одного подшипника или тарированием (нанесением на шприц шкалы и определение цены ее деления) величины опускания штока при закладке.

Измерение зазоров в подшипнике скольжения. Зазоры между шейкой вала и верхним вкладышем (рис. 79, *а*) и между вкладышем и крышкой подшипника (рис. 79, *б*) определяются по толщине сплющенных при затяжке подшипника свинцовых проволочек *a*, *b*, *c*, *d*, которые были проложены между шейкой вала и верхним вкладышем, а также между вкладышем и крышкой подшипника и измерены микрометром после разборки подшипника. Величина зазора подшипника, например, между шейкой вала и верхним вкладышем (рис. 79, *а*) в плоскости *1—1* определяется по формуле

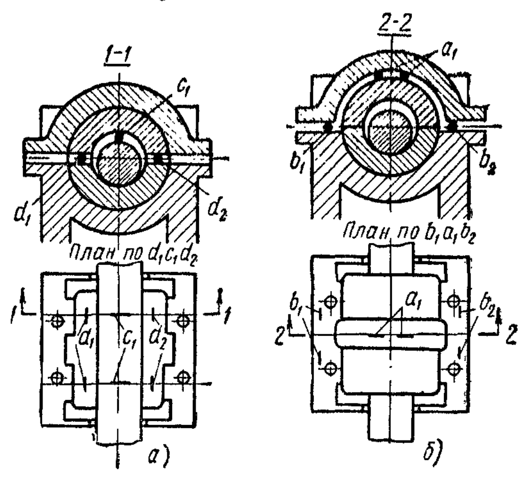


Рис. 79. Измерение зазоров в подшипнике скольжения:

а — между шейкой вала и верхним вкладышем, *б* — между вкладышем и крышкой подшипника

$$A_1 = C_1 - \frac{d_1 + d_2}{2}.$$

Измерение величины разбега вала электромашины в осевом направлении. Величина разбега вала электродвигателей в осевом направлении зависит от мощности машины, конструкции подшипников, качества монтажа и по нормам не должна превышать в среднем 2—4 *мм* (табл. 10).

Для электромашин с диаметром шеек валов более 200 *мм* величина осевого разбега не должна превышать 2% диаметра шейки.

Таблица 10

Разбег (осевое смещение) вала в подшипниках скольжения

Мощность электромашины, *квт*	Осевое смещение вала, *мм*	
	в одну сторону	в две стороны
До 10	0,5	1
10—20	0,75	1,5
30—70	1	2
70—125	1,5	3
Выше 125	2	4

Разбег устанавливается в обе стороны от центрального положения ротора (якоря), определяемого магнитным полем. Регулировка зазора между заточками вала и торцами вкладышей должна быть произведена таким образом, чтобы тепловое расширение вала было направлено от муфты к наружным подшипникам. Для этого необходимо, чтобы в холодном состоянии машины зазоры *а* были больше, чем зазоры *в* (рис. 80). В среднем

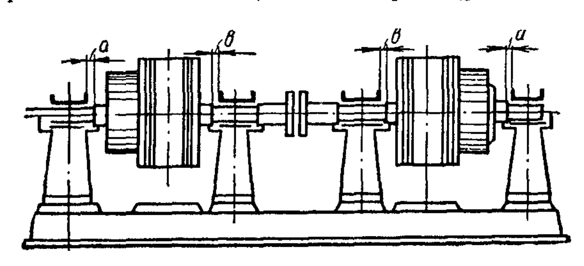


Рис. 80. Осевой разбег вала

можно считать, что при повышении температуры вала на 40° разбег удлиняется на 0,5 *мм* на каждый метр длины. В связи с этим измерение осевого разбега следует производить как в холодном, так и в горячем состоянии машины. Измерение величины разбега производят от торцов вкладыша до заточек вала при помощи стальной линейки с делениями.

Для роликовых подшипников осевое смещение может быть допущено максимум до 0,5 *мм*; при шариковых подшипниках осевое смещение допускается только при тепловом расширении вала.

Измерение величины воздушных зазоров. Величина воздушного зазора между сталью статора и ротора и в подшипниках очень сильно влияет на работу электрической машины и потому должна тщательно проверяться. В машинах, собираемых на месте монтажа, размер воздушного зазора прове-

ряется с помощью щупа, представляющего набор узких стальных пластин разной ширины и длины. На рис. 81, *а, б* показаны щупы для небольших зазоров.

Некоторые технические данные наборов щупов для зазоров до 1,0 *мм* приведены в табл. 11.

Таблица 11

Технические данные наборов щупов

Номера наборов	1	2	3	4	5	6	7
Количество пластин	8	6	16	11	14	11	11
Толщина пластин, *мм*	0,03—0,1	0,03—0,09	0,03—0,5	0,03—0,5	0,05—1	0,05—1	0,5—1

Кроме того, применяются щупы из пластин толщиной до 3 *мм* и длиной от 350 до 600 *мм*.

Для измерения больших воздушных зазоров (10—20 *мм*) применяется специальный щуп, состоящий из двух взаимно перемещающихся пластинок клиновой формы. Величина зазора отсчитывается по делениям, нанесенным на рукоятке щупа (рис. 81, *в*).

Для измерения воздушных зазоров от 0,5 до 15 *мм* с точностью измерений до 0,1 *мм* применяется клиновой щуп, (рис. 81, *г*). На стержне *4* укрепляется клин *1*, имеющий форму уголка с одной скошенной полкой; на второй полке нанесена шкала с ценой деления 0,1 *мм*. Движок *3* с указателем *2* перемещается вдоль градуированной полки клина. При измерении клин вводится в воздушный зазор и движок подводится так, чтобы его отогнутая часть упиралась в торцовую поверхность статора или ротора; при этом указатель покажет на шкале величину зазора. Для измерения величины зазора щупы поодиночке или в различных сочетаниях вводятся в зазор. Если они входят в зазор свободно, то толщина их должна быть увеличена; если не входят или входят лишь с большим усилием, толщина должна быть уменьшена. За величину зазора принимается толщина пластинок (или сумма толщин пластинок, если их несколько), при которой щупы входят в измеряемый зазор с небольшим усилием. Так как разные лица ощущают это усилие по-разному, то способ проверки зазора щупом обычно осваивается рабочим под руководством опытного мастера. Поэтому весьма важно, чтобы измерения зазоров при проверке или сборке данной машины производились одними и теми же лицами.

У асинхронных и синхронных машин с неявно выраженными полюсами при небольших диаметрах ротора зазоры измеряются в четырех точках, при больших диаметрах ротора — в восьми

точках. Измеряют зазоры с обеих торцовых сторон машины при четырех последовательно сдвинутых на 90° положениях ротора или якоря. Зазор должен быть одинаковым по всей окружности. Величины воздушных зазоров в диаметрально противоположных точках асинхронных машин не должны отличаться друг от друга более чем на ±10% среднего значения. Величины зазоров в

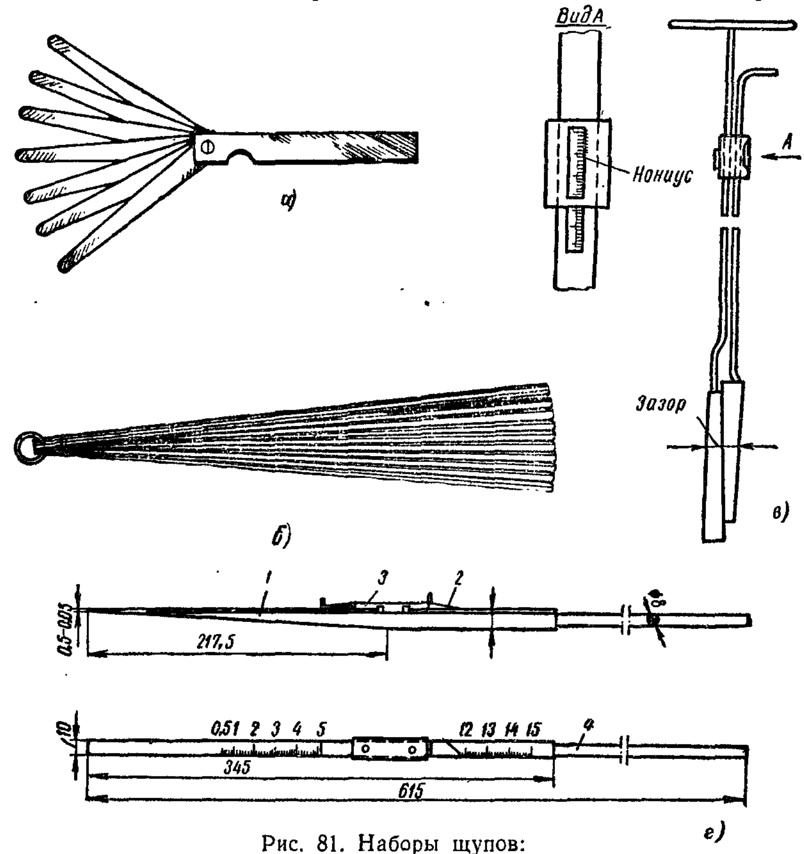


Рис. 81. Наборы щупов:

а и *б* — для измерения небольших зазоров, *в* — клиновой, для измерений зазоров 10—20 *мм*, *г* — то же, от 0,5 до 15 *мм*

синхронных машинах, измеренные против середины полюсов, не должны отличаться друг от друга более чем на ±10% среднего значения для тихоходных машин и на ±5% для быстроходных. Величины зазоров в диаметрально противоположных точках не должны отличаться друг от друга более чем на ±20% для гидрогенераторов.

Величины зазоров в машинах постоянного тока, измеренные под серединами главных полюсов: при зазорах 3 *мм* и менее и

петлевой обмотке якоря не должны отличаться от среднеарифметического значения всех зазоров более чем на ±10%; при зазорах более 3 *мм* — не более чем на ±5%; при волновой обмотке эти допуски могут быть увеличены в два раза.

Величина зазоров в машинах постоянного тока обусловливается числом оборотов (у электродвигателя) или напряжением (у генератора). Воздушные зазоры, измеренные под серединами добавочных полюсов, не должны отличаться от номинального (расчетного) более чем на ±5%.

У возбудителя (подвозбудителя) воздушные зазоры должны быть измерены между каждым полюсом возбудителя (подвозбудителя) и якорем. Величины воздушных зазоров в диаметрально противоположных точках тоже не должны отличаться друг от друга более чем на 10% среднего значения.

В табл. 12 приводятся данные завода «Электросила» им. С. М. Кирова по предельно допустимым отклонениям величин воздушных зазоров от их среднеарифметического значения.

Таблица 12

Предельно допустимые отклонения величин воздушных зазоров электрических машин

Типы машин	Отклонения, %
Асинхронные	±10
Синхронные	±5
Постоянного тока с петлевой обмоткой при зазорах до 3 *мм* включительно (между якорем и главными полюсами)	±10
То же, при зазорах более 3 *мм*	±5
Постоянного тока с волновой обмоткой (между якорем и главными полюсами)	Допуски по пп. 3 и 4 могут быть увеличены в 2—2,5 раза
Постоянного тока (между якорем и добавочными полюсами)	±5

Величины воздушных зазоров обычно приводятся в паспортных данных машины.

Измерение биений вращающихся частей. Неточности обработки и сборки вращающихся частей машины вызывают смещения оси вращения той или иной части машины. Это имеет место и в том случае, если погнут вал ротора или неправильно выполнена центровка агрегата. В результате может появиться «биение» машины.

Для всех вращающихся частей машины, особенно с вертикальными и длинными валами, биение крайне нежелательно, ибо при этом нарушается нормальная работа подшипников, щеточного аппарата, а также других частей и всего агрегата в целом.

Обычно измерение биения производится на поверхности коллекторов, контактных колец и свободных концов валов насаженных на них полумуфт, у вертикальных машин — вблизи направляющих подшипников или в других доступных местах вала.

Наиболее распространенным прибором для измерения биения является часовой индикатор (рис. 82), представляющий собой механизм, преобразующий поступательное движение измерительного стержня во вращательное движение стрелки. Часовым индикатором пользуются для измерения длин и проверки взаимного положения деталей машин, а также правильности их

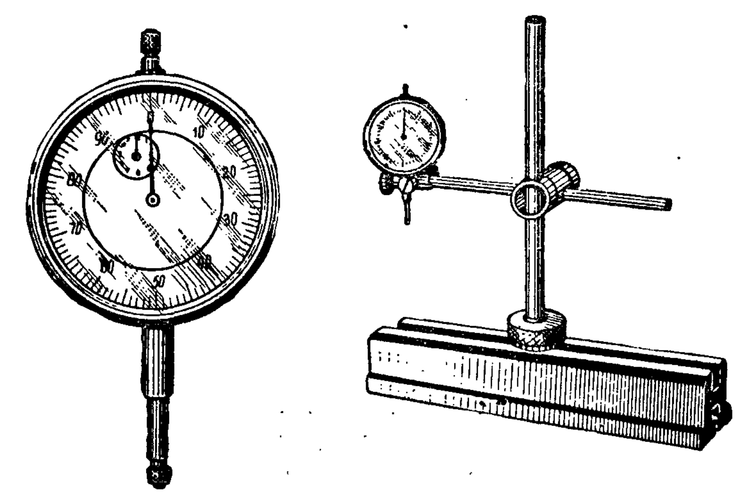


Рис. 82. Индикатор часовой

геометрической формы. Они изготовляются по ГОСТ 577—53 с пределами измерений 0—1; 0—2; 0—5 и 0—10 *мм* и ценой деления (точность отсчета) основной шкалы индикатора 0,01 *мм*; диаметр индикатора равен 40 и 58 *мм*. Для удобства измерений биений гладких поверхностей индикатор устанавливается на универсальном штативе.

При измерении биения вала наконечник индикатора упирается непосредственно в вал, а для измерения биения коллектора приходится пользоваться хорошо притертой к нему щеткой. Место расположения индикатора при измерении биения вращающихся частей, лежащих в подшипниках качения, безразлично, а при подшипниках скольжения индикатор следует располагать или сверху, или снизу, так как покачивание шеек вала во вкладышах, имеющих масляный зазор, превосходящий величину возможного биения, может дать неправильные результаты измерения при расположении его сбоку.

В тех случаях, когда биение измеряют на токоведущих частях — коллекторе или контактных кольцах, находящихся под напряжением, необходимо соблюдать личные меры по технике безопасности и принимать меры к надежной изоляции индикатора от корпуса машины.

Процесс измерения начинается с того, что вращающуюся часть приводят в медленное движение и ведут наблюдение за перемещением стрелки часового индикатора по шкале. Разность между крайними показаниями стрелки индикатора и есть искомое биение.

При цилиндричности коллектора стрелка индикатора будет двигаться равномерно и, наоборот, при наличии на коллекторе выступов или провалов у целых групп или отдельных пластин — скачкообразно.

Для проверки коллектора измерение биения его производится как в холодном, так и в нагретом состоянии машины. Предельные допустимые величины биения коллекторов не нормируются.

К элементам механической части, проверяемым при наладке, кроме указанных выше, относятся щеткодержатели, устройства для подъема щеток, закорачивающих пальцев и др.

§ 3. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК

Согласно ГОСТ 183—55 сопротивление изоляции обмоток электрической машины $R_{изм}$ в мегомах относительно ее корпуса и сопротивление изоляции между обмотками должно быть не ниже значения, получаемого по формуле

$$R_{изм} = \frac{U_{ном}}{1000 + 0{,}01 \cdot P_{ном}}$$

Пример. Турбогенератор мощностью 50 000 *квт* при $\cos\varphi = 0{,}85$ имеет номинальное напряжение $U_с = 10\,500$ *в* и номинальное напряжение возбуждения $U_р = 230$ *в*. Требуется определить наименьшее допустимое значение сопротивления изоляции обмоток статора и ротора.

Номинальная мощность машины равна:

$$P_{ном} = \frac{50\,000}{0{,}85} = 58\,800 \text{ } \textit{ква}.$$

Сопротивление изоляции обмотки статора:

$$R_с = \frac{10\,500}{1000 + 0{,}01 \cdot 58\,800} = 6{,}6 \text{ } \textit{Мом},$$

ротора

$$R_р = \frac{230}{1000 + 0{,}01 \cdot 58\,800} \approx 0{,}145 \text{ } \textit{Мом}.$$

Наименьшие допустимые величины сопротивления изоляции обмоток электрических машин приведены в табл. 13, составленной в соответствии с действующими правилами и ГОСТ.

Если обмотка подразделена на части, имеющие отдельные выводы начал и концов для возможности переключения на различные напряжения, то измерение сопротивления изоляции должно производиться из расчета на наибольшее из этих напряжений для всей обмотки в целом, что, однако, не препятствует измерению сопротивления изоляции частей по отношению друг к другу, как например в машинах постоянного тока с двумя отдельными якорными обмотками, выведенными к разным коллекторам. Цепи последовательного и параллельного (или независимого) питания в машинах постоянного тока рассматриваются как электрически независимые. Например, если ротор синхронной машины в процессе сушки питается от своего возбудителя или другого постороннего источника, то сопротивление изоляции всей цепи возбуждения можно измерить, не отключая тока, при помощи вольтметра (рис. 83). Сопротивление изоляции испытуемой обмотки машины определяют по известной нам формуле

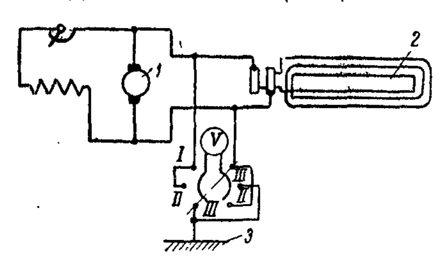


Рис. 83 Схема измерения сопротивления изоляции всей цепи возбуждения при помощи вольтметра без отключения источника питания:
1 — возбудитель, 2 — ротор, 3 — заземление

$$R_{изм} = R_в \left(\frac{U_1}{U_2 + U_3} - 1 \right),$$

где $R_{изм}$ — искомое сопротивление изоляции относительно земли;

$R_в$ — сопротивление вольтметра;

U_1 — показание вольтметра в положении *I*;

U_2 — показание вольтметра в положении *II*;

U_3 — показание вольтметра в положении *III*.

Внутреннее сопротивление вольтметра должно быть не менее 500 *ом* на каждый вольт напряжения на концах ротора.

Для машин малой мощности $R_{изм}$ практически вычисляется по формуле

$$R_{изм} = \frac{U_{ном}}{1000},$$

что соответствует 1 *Мом* на 1 *кв*.

Измерение сопротивления изоляции обычно производится с помощью мегомметров с ручным или электрическим приводом. Согласно ГОСТ 7217—59 для электрических машин на номи-

Таблица 13

Наименьшие допустимые величины сопротивления изоляции обмоток электрических машин

Машины или их части	Наименьшая допустимая величина сопротивления изоляции	Примечание
Все машины	$R_{изм} = \frac{U_{ном}}{1000 + 0{,}01 \cdot P_{ном}}$	По ГОСТ 183—55
Статоры машин переменного тока с рабочим напряжением выше 1000 *в*	1 *Мом* на 1 *кв* рабочего напряжения	По Правилам устройства электроустановок
Статоры машин переменного тока с рабочим напряжением до 1000 *в*	0,5 *Мом* на 1 *кв*	То же
Якоря машин постоянного тока напряжением до 750 *в* включительно	1 *Мом* на 1 *кв*	»
Роторы асинхронных электродвигателей, генераторов и синхронных компенсаторов (включая всю цепь возбуждения)	1 *Мом* на 1 *кв*, но не ниже 0,5 *Мом* на 1 *кв*	По данным заводов-изготовителей и Правилам технической эксплуатации электрических станций и сетей
Электродвигатели напряжением 3000 *в* и выше:		По Правилам устройства электроустановок
статоры	1 *Мом* на 1 *кв*	
роторы	0,2 *Мом* на 1 *кв*	

нальное напряжение до 500 *в* включительно — мегомметрами на 500 *в*, для электрических машин на номинальное напряжение 3000 *в* и выше — мегомметрами на 1000 или 2500 *в*. Последовательность операций при измерении сопротивления изоляции мегомметром описана в главе 2, § 4.

Измерение сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса машины и между обмотками для электродвигателей мощностью от 10 до 10 000 *квт* производится в холодном состоянии — до начала испытаний; в нагретом состоянии — при температуре, равной температуре номинального режима работы (или отличающейся от нее не более чем на 10°). Измерение сопротивления изоляции должно предшествовать испытанию электрической прочности изоляции обмоток.

Для асинхронных электродвигателей с фазным ротором сопротивление изоляции должно быть измерено отдельно для обмоток статора и обмоток ротора. Если в электродвигателях выведены начало и конец каждой фазы, то измерение сопротивления изоляции обмотки следует производить отдельно для каждой фазы относительно корпуса и между обмотками. В много-

скоростных многообмоточных электродвигателях сопротивление изоляции обмоток должно быть измерено на выводах каждой обмотки в отдельности.

При проверке изоляции обмотки по отношению к корпусу один из щупов прикладывают к зачищенной металлической поверхности корпуса машины (желательно в месте заземления корпуса), второй — к выводному концу или обнаженной поверхности проводников той обмотки, сопротивление изоляции которой измеряют. Если на какой-нибудь части машины расположена не одна, а несколько обмоток, то, помимо измерения сопротивления изоляции каждой из них по отношению к корпусу, необходимо проверить состояние их изоляции между собой. С этой целью при измерении сопротивления изоляции каждой из обмоток по отношению к корпусу все остальные обмотки соединяются с корпусом или по окончании измерения сопротивления изоляции всех обмоток по отношению к корпусу производится измерение сопротивления изоляции между каждыми двумя из обмоток.

Продолжительность измерения показаний мегомметра тем больше, чем меньше при прочих равных условиях содержание влаги в изоляции обмотки.

По окончании измерения сопротивления изоляции всех обмоток машины следует повторно проверить исправность мегомметра.

Состояние изоляции машин следует определять не только по абсолютному значению сопротивления изоляции, но и по характеру изменений сопротивления изоляции во времени (коэффициент абсорбции).

Для электродвигателей величина сопротивления изоляции и отношения R_{60}/R_{15} (коэффициент абсорбции $K_{аб}$) не нормируются. Однако для электродвигателей напряжением 3 *кв* и выше мощностью свыше 1000 *квт* определение величины коэффициента абсорбции $K_{аб}=R_{60}/R_{15}$ является обязательным.

При приемно-сдаточных испытаниях до и после испытания повышенным напряжением обмоток статора генератора производится измерение сопротивления изоляции каждой фазы или параллельной ветви в отдельности по отношению к другим фазам, присоединенным к корпусу. Величина сопротивления изоляции и отношения R_{60} и R_{15}, как и в других машинах, не нормируются. При этом применяется мегомметр на напряжение не ниже 1000—2500 *в*. При измерении сопротивления изоляции обмотки ротора генератора применяется мегомметр на напряжение 250—1000 *в*. Сопротивление изоляции цепей возбуждения генератора должно быть не ниже 1 *Мом*, а обмоток якоря и бандажей — не ниже 0,5 *Мом*. Измерения в цепях возбуждения генератора и возбудителя совместно со всей присоединенной аппаратурой (без обмоток ротора и возбудителя), а также из-

мерения отдельно сопротивления изоляции обмоток и бандажей якоря должны производиться мегомметром на напряжение 500—1000 *в*.

Различные схемы измерения сопротивления изоляции обмоток генератора мегомметром приведены на рис. 84.

Из опыта наладки нового оборудования следует, что сопротивление изоляции машин, измеренное при температуре около 20°, как правило, лежит в пределах от 5 до 100 *Мом*.

Снижение сопротивления изоляции обмоток ниже указанных значений может быть вызвано проникновением в толщу изоляции влаги, поверхностной влажностью или оседанием токопроводящей пыли на выводах, обмотках и коллекторе машины.

В целях предотвращения снижения сопротивления изоляции рекомендуется продуть машину и очистить выводы обмоток, торец коллектора, изоляционные детали щеткодержателей и произвести повторное измерение сопротивления изоляции. Если после чистки деталей сопротивление изоляции не повысится, необходимо произвести поверхностную сушку обмоток и их выводов с помощью воздуходувки или другими способами, а затем провести контрольное измерение изоляции.

Необходимо учесть, что при оседании токопроводящей пыли вместе с маслом на обмотки или изоляционные детали машин, длительное время находящихся в эксплуатации, удаление их продувкой и протиркой сухими тряпками невозможно.

Чтобы уточнить причины снижения сопротивления изоляции, следует измерить электрическое сопротивление изоляции мостом Р316 или МКЛ-49 при двух направлениях тока в контролируемой цепи. Если низкое сопротивление изоляции вызывается токопроводящей пылью, то мост при обоих измерениях покажет одинаковые результаты. При неодинаковых показаниях наиболее вероятной причиной можно считать проникновение в обмотку влаги и образование гальванической э. д. с., которая и создает разные показания при измерении мостом. Для повышения сопротивления изоляцию промывают ксилолом, толуолом или другим растворителем и удаляют, таким образом, попавшую в машину пыль или сушат машину, если ухудшение изоляции вызвано общей увлажненностью обмотки.

Машины низкого напряжения для малоответственных приводов в отдельных случаях включают при несколько пониженном сопротивлении изоляции. Согласно ПУЭ машины постоянного тока и электродвигатели переменного тока, выдержавшие испытание повышенным напряжением, включают в сеть независимо от величины сопротивления изоляции.

Из практики известно, что асинхронные двигатели, включенные иногда при изоляции 100 *ком* и ниже, в ходе работы постепенно подсушивались и затем много лет безотказно работали. Однако включение при пониженной изоляции машин, не про-

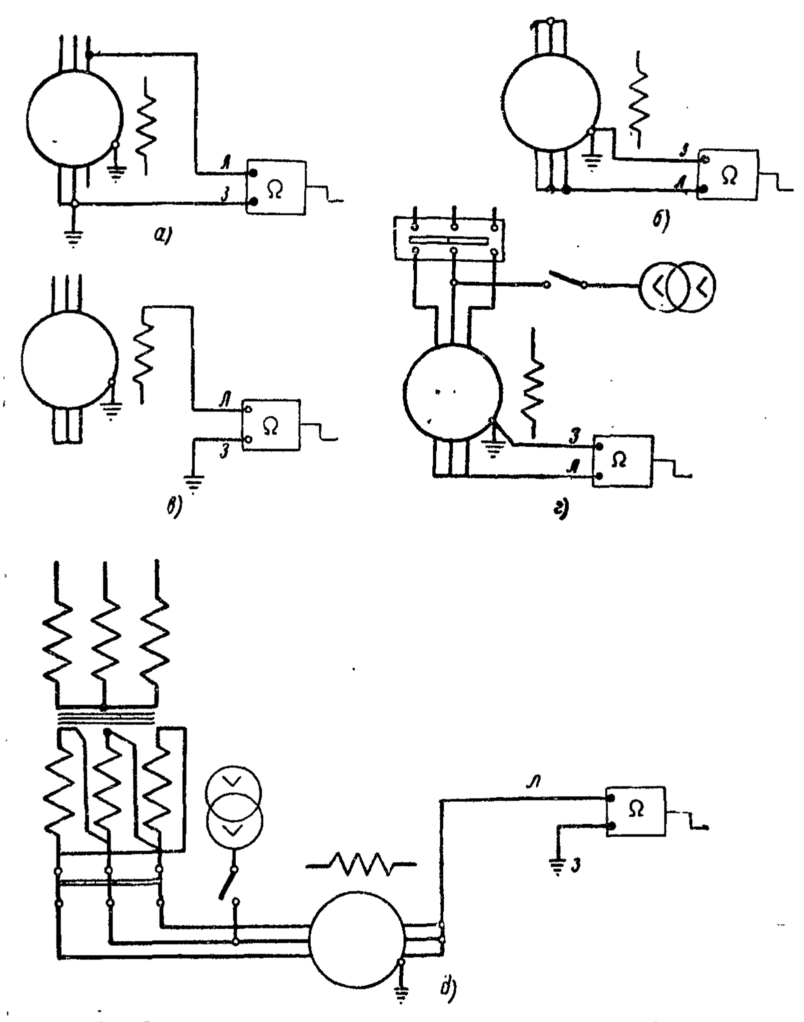


Рис. 84. Схемы измерения сопротивления изоляции обмоток генератора:

а — изоляции фазы относительно корпуса и двух других заземленных фаз, *б* — изоляции обмоток всех фаз, *в* — изоляции обмотки ротора, *г* — изоляции статора, включая ошиновку до выключателя генератора, *д* — изоляции статора, включая обмотки низшего напряжения трансформатора, работающего в блоке с генератором

шедших испытания повышенным напряжением, допустимо только в исключительных случаях, когда имеются запасные машины и стоимость подвергаемой риску машины несравненно ниже технико-экономических потерь, которые могут иметь место в результате простоя оборудования.

Перед пуском и в условиях эксплуатации сопротивление изоляции обмотки статора измеряют на неподвижном генераторе вместе с кабелями или шинным мостом (рис. 84, *г*), а при блочной схеме (генератор-трансформатор) — вместе с обмоткой низшего напряжения повысительной трансформаторной группы (рис. 84, *д*).

Перед измерением сопротивления изоляции необходимо в нуле генератора отключить разъединитель или выключатель, а также вынуть плавкие вставки у трансформаторов напряжения. Сопротивление изоляции цепи возбуждения генератора измеряют первоначально для всей цепи в целом. Если сопротивление изоляции окажется пониженным, то разделяют цепь (поднимают или вынимают щетки контактных колец) и измеряют раздельно сопротивление изоляции собственно обмотки ротора и остальной цепи возбуждения. На работающем генераторе сопротивление изоляции всей цепи возбуждения, включая возбудитель, кабели и пр., измеряют периодически при помощи одного вольтметра методом трех последовательных измерений (рис. 83) по формуле

$$R_{изол} = R_в\left(\frac{U_1}{U_2 + U_3} - 1\right)\cdot 10^{-6}\ Мом.$$

Во избежание замыкания на землю при измерениях проводники от вольтметра должны иметь надежную изоляцию.

§ 4. КОНТРОЛЬ ИЗОЛЯЦИИ ПОДШИПНИКОВ

Во время работы генератора или синхронного компенсатора, а также крупных машин переменного тока — синхронных и асинхронных — вдоль вала ротора наводится переменная электродвижущая сила, которая может вызвать токи через подшипники агрегата (рис. 85). Индуктируемая э. д. с. может достичь нескольких десятков долей вольта, а иногда нескольких вольт.

Токи в подшипниках опасны тем, что образующиеся в масляном слое между шейками вала ротора генератора и вкладышами маленькие электрические дуги разъедают поверхности шеек вала и заливку вкладышей подшипников, «натаскивая» баббит на шейки вала, что вызывает чрезмерный нагрев подшипников и даже расплавление заливки вкладышей. Кроме того, электролитическое действие тока ухудшает качество масла, вызывая его почернение, что в свою очередь увеличивает нагревание подшипников. Подшипниковые токи могут также повре-

дить шейки валов ротора, заливку вкладышей подшипников, а у паровых турбин и червячную пару привода масляного насоса турбины. Если электрическая машина соединена с какой-либо другой машиной, то возникающий ток может, ответвляясь, повредить подшипники или другие части второй машины.

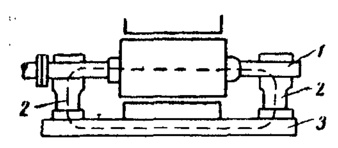


Рис. 85. Схема протекания токов в подшипниках:

1 — вал ротора, 2 — подшипники, 3 — фундаментная плита

В случае замыкания обмотки ротора (якоря) на вал при одновременном заземлении во внешней цепи ротора может произойти короткое замыкание в обмотке ротора через подшипники (рис. 86). Вследствие замыкания обмотки ротора на его бочку в точке *а* и заземления цепи возбудителя *1* в точке *в* ток будет протекать, как показано стрелками, через неизолированный подшипник *2*. В подобных случаях повреждение шеек вала и подшипниковых вкладышей может быть весьма значительным, для чего потребуется немедленный ремонт.

В целях устранения подшипниковых токов в их цепь (вал — подшипник — фундаментная плита — подшипник — вал) включаются изолирующие прокладки. Кроме главных изоляционных прокладок (между стояками и фундаментной плитой), изолируются также все шунтирующие цепи: болты, контрольные шпильки, маслопровод, кабели возбуждения, освинцованные кабели температурной сигнализации, а также приспособление для короткого замыкания ротора асинхронного электродвигателя, если оно стоит на фундаментной плите.

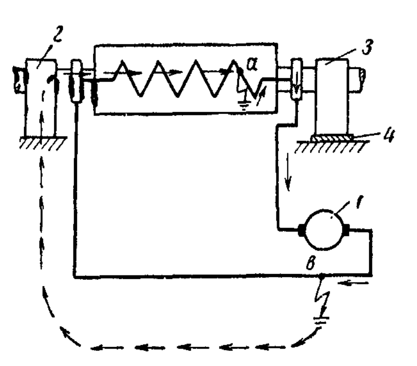


Рис. 86. Схема прохождения токов короткого замыкания в обмотке ротора турбогенератора:

1 — возбудитель, 2 и 3 — подшипники турбогенератора, 4 — изоляция подшипника

Во избежание повреждений, вызываемых подшипниковыми токами, необходимо контролировать целость всех изолирующих прокладок. Согласно ПУЭ измерение сопротивления изоляции подшипников агрегата (синхронного генератора и компенсатора) относительно фундаментной плиты при собранных маслопроводах производится в процессе монтажа мегомметром на 1000 *в*; величина сопротивления изоляции должна быть не менее 1 *Мом*.

Изоляцию подшипников проверяют до установки вала, так

как после установки вала на место все подшипники оказываются соединенными между собой и со станиной. Обычно по технологии монтажа сначала собирают машину, устанавливают ротор, а затем монтируют маслопровод. В подобных случаях необходимо проверить качество изоляции по элементам — раздельно: сначала изоляцию подшипников, затем изоляцию маслопроводов после их сборки.

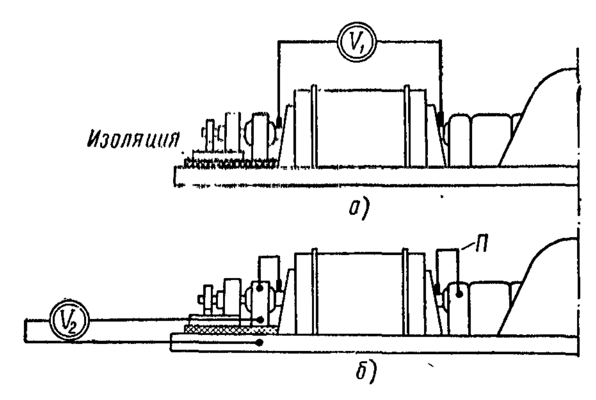


Рис. 87. Измерение сопротивления изоляции подшипников турбогенератора во время его работы:
а — измерение напряжения на концах вала, *б* — измерение напряжения между изолированной опорой (стойкой) подшипника и фундаментной плитой, *П* — перемычка для шунтирования масляной пленки

При проверке изоляции подшипника конец вала машины необходимо приподнять подъемным краном. На время измерения соединяют электрически между собой вкладыши всех изолированных подшипников. Наличие электрической изоляции на двух последовательных фланцах каждого маслопровода изолированного подшипника позволяет, не вскрывая подшипника, проверить изоляцию каждого маслопровода. Для этого достаточно измерить мегомметром сопротивление изоляции участка трубы между фланцами относительно корпуса подшипника.

В условиях работающей машины также можно проверить исправность изоляционной прокладки под корпусом подшипника. Для этого применяют метод двух последовательных измерений напряжения в контуре: вал — подшипник — фундаментная плита — подшипник — вал (рис. 87).

Сначала измеряют напряжение U_1 (рис. 87, *а*) на концах вала ротора генератора (синхронного компенсатора). После этого измеряют при закороченных масляных пленках в обоих подшипниках генератора напряжение U_2 между изолированным подшипником и фундаментной плитой со стороны возбудителя

(рис. 87, *б*). Если эти напряжения равны между собой, то изоляционная прокладка в исправности; если второе напряжение U_2 меньше первого U_1, то прокладка неисправна. Обычно принято считать, что если U_1 и U_2 отличаются друг от друга больше чем на 10%, то это уже указывает на неисправность изоляции. Если же U_2 будет больше U_1, то это указывает на неправильность произведенного измерения, которое должно быть повторено. Следует иметь в виду, что величины напряжений на валу, измеренные при холостом ходе, будут отличаться от измеренных при нагрузке.



Рис. 88. Вольтметр многопредельный АМВ

Необходимость закорачивания масляных пленок вызывается тем, что в некоторых случаях пленка сама обладает изоляционными свойствами и поэтому при повреждении изоляционной прокладки под подшипником напряжение (U_2) между валом и корпусом будет равно напряжению (U_1) между концами вала, и дефект изоляции не будет выявлен. В настоящее время изоляция подшипников выполняется из двух слоев с прокладкой из фольги, что позволяет измерять и контролировать сопротивление изоляции без подъема конца вала. Измерение напряжения следует производить вольтметром с малым пределом измерения и с малым внутренним сопротивлением, чтобы на результатах измерения не могло отразиться стекание с ротора генератора электрических зарядов. Например, для этой цели может быть использован переносный вольтметр электромагнитной системы, астатический типа АМВ, с пределом измерения 0—7,5—15 *в* и с внутренним сопротивлением 25 *ом,* класса точности 0,5 (рис. 88).

У гидрогенераторов необходимо контролировать сопротивление изоляции подпятника и направляющих подшипников. Для этого во время работы генератора измеряется величина напряжения на валу при помощи вольтметра с малым пределом измерений, а во время капитальных ремонтов с помощью мегомметра — сопротивление изоляции подпятника и подшипников.

При отсутствии указанного вольтметра (АМВ) можно пользоваться обычным вольтметром, но включать его следует через повышающий трансформатор с коэффициентом трансформации 1 : 10—1 : 20 на обмотку высшего напряжения. Например, для

этих целей можно использовать понижающий трансформатор напряжением 220/12 *в*, обычно используемый для переносных ламп, присоединяя вольтметр к обмотке высшего напряжения 220 *в* и используя обмотку 12 *в* для присоединения в местах измерений изоляции.

§ 5. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ОБМОТОК ПОСТОЯННОМУ ТОКУ

Общие сведения. Основные методы измерения сопротивления постоянному току приведены в главе 1, § 2. При измерении сопротивлений обмоток в холодном состоянии температура их не должна отличаться от температуры окружающей среды более чем на 3°. Температура обмоток должна контролироваться термометрами или термопарами.

Практически за установившуюся температуру обмотки машины принимается температура, которая устанавливается при неизменных значениях нагрузки и температуры охлаждающего воздуха. Точность измерения сопротивлений постоянному току обмоток статора и ротора машины и всех других вспомогательных устройств дает возможность выявить наличие витковых замыканий, состояние электрических контактов (соединений), наличие обрыва цепи, состояние паек, величину нагрева обмоток и др. Поэтому эти измерения должны проводиться очень тщательно.

Полученные при измерениях значения сопротивлений обмоток сравниваются с ранее измеренными значениями. При неудовлетворительных результатах измерения сопротивления постоянному току их повторяют. В том случае, если повторные результаты окажутся неудовлетворительными, надлежит выяснить причины и их устранить. Измеренная величина сопротивления каждой фазы статора генератора не должна отличаться от величины сопротивления других фаз более чем на 2%. Для ротора генератора и электродвигателей напряжением 2 *кв* и выше величина сопротивления обмоток не должна отличаться от ранее измеренных величин более чем на 2%. Электроизмерительные приборы, применяемые при измерениях сопротивления обмоток согласно ГОСТ 7217—59, должны быть класса точности 0,2 или 0,5.

При измерении сопротивлений, меньших 1 *ом*, применение одинарного моста не допускается.

Измерение сопротивления обмоток методом амперметра и вольтметра производится в соответствии с главой 1, § 2, при этом обычно применяются следующие электроизмерительные приборы: амперметр постоянного тока М-104, магнитоэлектрической системы, переносный, класса точ-

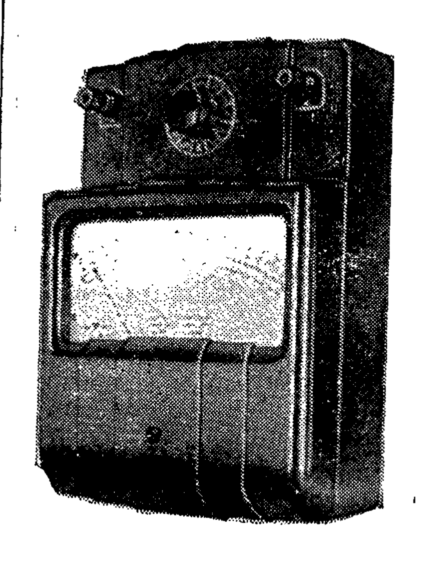


Рис. 89. Внешний вид амперметра постоянного тока М-104

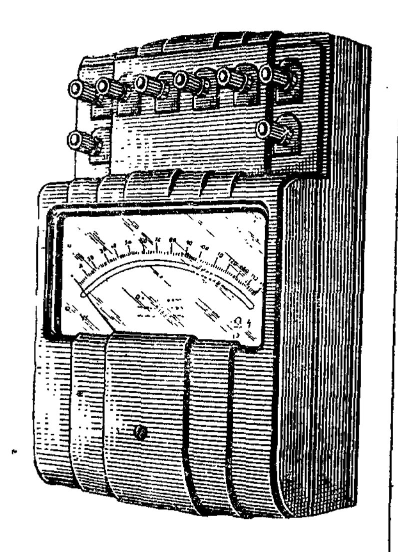


Рис. 90. Внешний вид милливольтметра постоянного тока М-105

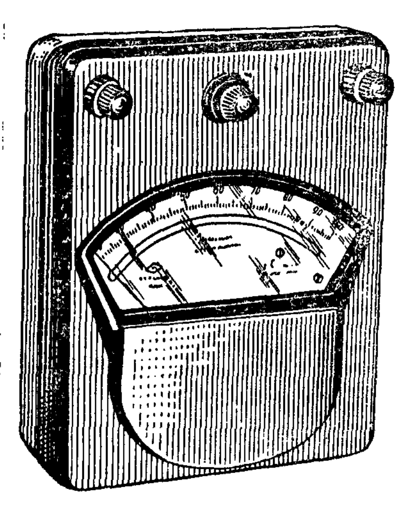


Рис. 91. Внешний вид прибора АСТ

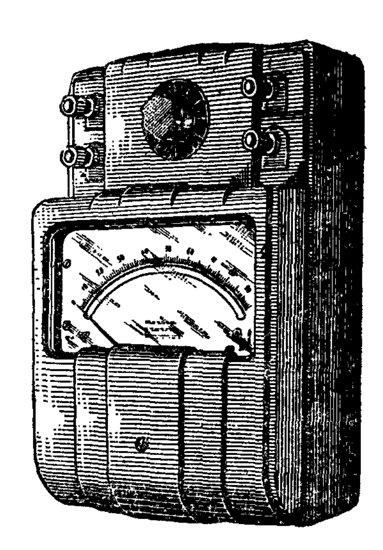


Рис. 92. Внешний вид вольтметра постоянного тока М-106

ности 0,5, с пределами измерения от 15 *ма* до 30 *а* (рис. 89); милливольтметр постоянного тока М-105, магнитоэлектрической системы, переносный, класса точности 0,5, с пределами измерения от 45 до 3000 *мв* (рис. 90); амперметр постоянного и переменного тока АСТ, астатический, переносный, класса точности 0,5, с пределами измерения от 0 до 10 *а* (рис. 91); вольтметр постоянного тока М-106, магнитоэлектрической системы, переносный, класса точности 0,5, многопредельный от 0 до 15—30—600 *в* (рис. 92).

Несимметрия величин сопротивления по фазам указывает, как правило, на наличие плохой пайки лобовых частей обмотки статора.

После окончания измерения сопротивлений на приборе должны быть вновь установлены наибольшие пределы измерения, а реостат, которым регулируется ток, оставлен в положении, соответствующем наименьшей величине тока. Если сопротивление цепи вольтметра велико по сравнению с величиной измеряемого сопротивления, то потреблением тока в вольтметре можно пренебречь, а измеряемое сопротивление находится по приближенной формуле

$$R_{изм} = \frac{U}{I},$$

где U — показания вольтметра, *в*;

I — показания амперметра, *а*.

Обозначая через $C_в$ цену деления вольтметра, через $C_а$ — цену деления амперметра и через V и A — число делений отклонения стрелок вольтметра и амперметра, можно определить измеренные величины по формуле

$$R_{изм} = \frac{U}{I} = \frac{C_в}{C_а} \cdot \frac{V}{A}.$$

Если сопротивление цепи вольтметра мало по сравнению с измеряемым сопротивлением объекта, то потреблением тока в вольтметре пренебречь нельзя; в этом случае измеряемое сопротивление находится по более точной формуле

$$R_{изм} = \frac{U}{I - \frac{U}{R_{вн}}},$$

где $R_{вн}$ — внутреннее сопротивление вольтметра, *ом*.

После некоторого алгебраического ее преобразования можно написать так:

$$R_{изм} = \frac{C_в}{C_а} \cdot \frac{U}{A - кV}, \text{ где } к = \frac{C_в}{C_а \cdot R_{вн}}.$$

Величины $к$ обычно подсчитываются заранее для всех значений $C_а$. Например, для данного вольтметра отношение $\frac{C_в}{R_{ви}}$ постоянно на всех пределах его измерения, если в данном случае сохраняется схема его внутренних соединений.

Пример. Для измерения сопротивления постоянному току обмотки возбуждения возбудителя генератора применены вольтметр постоянного тока магнитоэлектрической системы со шкалой на 150 делений, с пределом измерения 30 *в* и амперметр постоянного тока магнитоэлектрической системы с пределом измерения 0,75 *а* и со шкалой на 150 делений. Сопротивление цепи вольтметра составляет 8000 *ом*. При трех произведенных отсчетах получены следующие показания приборов:

амперметр	99,6	87,5	80,2
вольтметр	115,4	98,6	90,7

Требуется определить сопротивление обмотки возбуждения с учетом тока, проходящего в цепи вольтметра.

Цена деления амперметра при пределе измерения 0,75 *а* составляет:

$$C_а = \frac{0,75}{150} = 0,005 \text{ а на деление.}$$

Цена деления вольтметра при пределе измерения 30 *в* составляет:

$$C_в = \frac{30}{150} = 0,2 \text{ в на деление.}$$

Обозначив $\frac{C_в}{C_а R_{вн}}$ через $к$, получим:

$$к = \frac{0,2}{0,005 \cdot 8000} = 0,005.$$

Следовательно, для учета тока, расходуемого в цепи вольтметра, необходимо от каждого показания амперметра отнимать 0,5% соответствующего показания вольтметра. В нашем случае измерение сопротивления произведено приборами класса точности 0,5 и вносить поправку на допустимую погрешность амперметра не требуется; если же измерительные приборы были бы класса точности 0,2, то такую поправку необходимо было обязательно внести, так как она превосходила бы допустимую погрешность в 2,5 раза. Результат измерения вычисляется по формуле

$$R_{изм} = \frac{C_в}{C_а} \cdot \frac{V}{A - кV} = \frac{0,2}{0,005} \cdot \frac{V}{A - 0,005V} = \frac{40V}{A - 0,005V}.$$

Затем, подставляя в указанную формулу показания приборов, получаем следующие зиачения сопротивлений:

1) $R_{изм} = \frac{40 \cdot 115,4}{99,6 - 0,005 \cdot 115,4} = 46,6$ *ом*;

2) $R_{изм} = \frac{40 \cdot 98,6}{87,5 - 0,005 \cdot 98,6} = 45,3$ *ом*;

3) $R_{изм} = \frac{40 \cdot 90,7}{80,2 - 0,005 \cdot 90,7} = 45,6$ *ом*.

За величину измеренного сопротивления можно принять среднюю из трех измерений:

$$R_{изм} = 45,8 \text{ ом}.$$

В том случае, если бы не было учтено потребление тока вольтметром, результат измерения сопротивления составил бы:

$$R_{изм} = \frac{C_в}{C_а} \cdot \frac{V}{A} = 45,6 \text{ ом, т. е. на } 0,2 \text{ ом меньше.}$$

Особенности измерения сопротивлений обмоток асинхронных электродвигателей. Измерение сопротивления обмоток постоянному току асинхронных электродвигателей производится практически в холодном состоянии. В случае невозможности непосредственного измерения температуры обмоток (термометрами или термопарами), измерение их сопротивлений для электродвигателей мощностью до 10 *квт* может производиться, если они находятся в окружающей среде в нерабочем состоянии не менее 5 *час*; для электродвигателей мощностью свыше 10 до 100 *квт* — не менее 8 *час*; для электродвигателей мощностью свыше 100 *квт* — не менее 16 *час*; при этом разность температуры окружающей среды до измерения сопротивления обмоток и температуры, при которой производится измерение, не должна превышать 10°.

Измерение сопротивления обмоток следует производить при неподвижном роторе машины, сопротивление обмоток статора измеряется на выводных концах. Если у электродвигателя выведены начала и концы трех фаз, то должны быть измерены сопротивления каждой фазы. В электродвигателях с фазным ротором должно быть измерено также сопротивление обмотки ротора на контактных кольцах. При внутреннем соединении трех фаз в звезду попарно измеряется сопротивление двух последовательно соединенных фаз. В данном случае результат измерения показывает сумму сопротивлений двух фаз (рис. 93). Поясним это примерами. Если места соединения обмоток у трехфазных электродвигателей недоступны и соединены звездой (рис. 93, *а*), то измеряют сопротивления r_{ab}, r_{bc}, r_{ca} на линейных зажимах $a - b$, $b - c$ и $c - a$. В этом случае $r_{ab} = r_a + r_b$ $r_{bc} = r_b + r_c$ и $r_{ca} = r_c + r_a$.

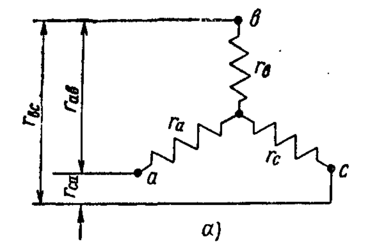
Здесь r_a, r_b и r_c — действительные значения сопротивлений трех фаз, а r_{ab}, r_{bc} и r_{ca} — результаты трех измерений, произведенных между соответствующими выводами.

Решая написанные выше равенства относительно r_a, r_b и r_c, получаем:

$$r_a = \frac{r_{ab} + r_{ca} - r_{bc}}{2};$$

$$r_b = \frac{r_{ab} + r_{bc} - r_{ca}}{2};$$

$$r_c = \frac{r_{bc} + r_{ca} - r_{ab}}{2}.$$



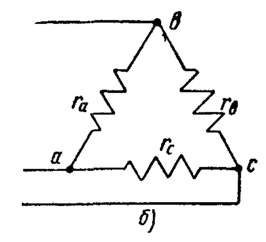


Рис. 93. Схемы измерения сопротивления обмоток трехфазных машин:

а — при соединении звездой, *б* — при соединении треугольником

Обычно $r_{ab} = r_{bc} = r_{ca}$. В этом случае берут их среднее арифметическое значение

$$r_{\text{ср}} = \frac{r_{ab} + r_{bc} + r_{ca}}{3}$$

и считают, что при соединении в звезду

$$r_a = r_b = r_c = \frac{1}{2} r_{\text{ср}},$$

где $r_{\text{ср}}$ — среднее сопротивление одной фазы, полученное при измерениях, *ом*.

Если нейтральная точка доступна, то, кроме трех измерений на линейных зажимах (r_{ab}, r_{bc} и r_{ca}), производят еще одно дополнительное измерение между нейтральным и одним из линейных зажимов. При доступности нейтральной точки допускается измерение сопротивлений фазных обмоток, но лишь в том случае, когда сопротивление цепи нейтрального зажима ничтожно мало по сравнению с сопротивлением фазной обмотки.

При соединении трех фаз внутри электродвигателя в треугольник должно быть измерено сопротивление между каждой парой выводных концов линейных зажимов, т. е. между *а—b*,

$b-c$ и $c-a$ (рис. 93, *б*). В этом случае сопротивление одной фазы определяется по формуле

$$r_{ф} = \frac{3}{2} r_{ср} = r_a = r_b = r_c,$$

где $r_ф$ — сопротивление одной фазы;

$r_{ср}$ — среднее значение сопротивлений, измеренных на выводах электродвигателя.

Согласно ГОСТ 7217—59 в многоскоростных электродвигателях должны быть измерены сопротивления обмоток статора для каждой номинальной скорости вращения. Обмотки статора многоскоростных электродвигателей весьма многообразны. Наи-

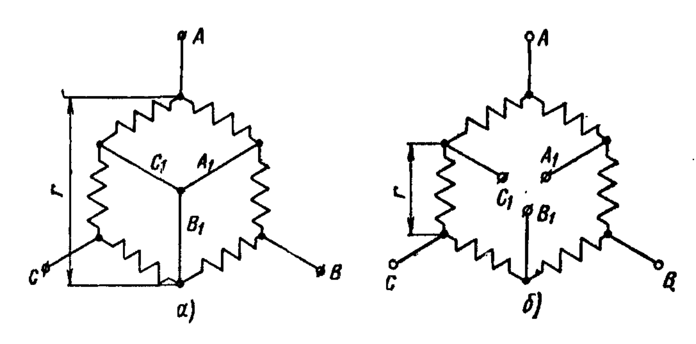


Рис. 94. Схемы измерения сопротивления обмоток многоскоростных асинхронных электродвигателей:

а — при соединении обмотки в звезду, *б* — при соединении обмотки в треугольник

более распространенными являются двухскоростные электродвигатели с отношением скоростей 1 : 2, имеющие одну обмотку статора с переключением числа пар полюсов соответственно 2 : 1. Четырехскоростные электродвигатели обычно выполняются с двумя самостоятельными обмотками, каждая из которых переключается на разные числа пар полюсов с отношением 2 : 1. У многоскоростных электродвигателей при соединении обмоток в шестиугольник, как показано на рис. 94, измерения можно произвести одним из следующих способов:

а) измерение производится между диаметрально противоположными выводами (рис. 94, *а*); таких измерений делается три. Обмотка разбивается на две одинаковые параллельные половины, каждая из которых состоит из трех частей. Измеряемое сопротивление должно быть равно:

$$r_{ср} = \frac{1}{\frac{1}{3r_ф'} + \frac{1}{3r_ф'}} = \frac{3}{2} r_ф'$$

или $r_ф' = \frac{2}{3} r_{ср}$, где $r_ф'$ — сопротивление одной фазы (полуфазы);

б) измерение производится между средними выводами, лежащими через один друг от друга; таких измерений делается шесть. В этом случае измеряемое сопротивление представляет параллельное соединение двух и четырех частей в последовательном соединении обмоток, т. е.

$$r_{ср} = \frac{1}{\frac{1}{2r_ф'} + \frac{1}{4r_ф'}} = \frac{4}{3} r_ф',$$

где $r_ф'$ — сопротивление одной полуфазы;

в) измерение производится между соседними выводами (рис. 94, *б*); таких измерений делается также шесть. Здесь измеряемое сопротивление будет состоять из параллельно включенной одной части обмотки и пяти остальных частей последовательно соединенных обмоток.

Принимая во внимание, что все шесть частей обмотки одинаковы и имеют одну и ту же величину сопротивления $r_ф'$, измеряемое среднее сопротивление $r_{ср}$ должно быть равно:

$$r_{ср} = \frac{1}{\frac{1}{r_ф'} + \frac{1}{5r_ф'}} = \frac{5}{6} r_ф'$$

или

$$r_ф' = \frac{6}{5} r_{ср}.$$

В практике наладочных работ обычно рекомендуется первый способ измерений, так как он наиболее просто позволяет непосредственно установить, равны ли практически сопротивления полуфаз. Если при первом способе измеренные сопротивления заметно отличаются между собой, то, очевидно, сопротивления полуфаз не все одинаковы. В таком случае следует разъединить обмотку в одном месте и произвести измерение сопротивления каждой полуфазы в отдельности.

Если выводы обмоток статора многоскоростных электродвигателей выполнены так, что имеется возможность разъединить их, можно произвести измерение каждой полуфазы обмотки непосредственно, что является наилучшим способом измерения.

Согласно ГОСТ 7217—59 при измерении сопротивления обмоток каждое сопротивление должно быть измерено три раза. В случае измерения сопротивления обмоток методом вольтметра и амперметра каждое сопротивление должно измеряться при трех разных значениях тока. За действительную величину сопротивления должно быть принято среднее арифметическое из трех измерений.

Измерение сопротивления обмотки ротора электродвигателя. В электродвигателях с фазным ротором концы обмотки ротора выводятся на контактные кольца. Обмотка имеет обычно соединение фаз в звезду и реже в треугольник. Три конца от щеток, наложенных на кольца, выводятся на щиток электродвигателя. Измерительную схему присоединяют к выводным концам, а вольтметр при помощи щупов — непосредственно на контактные, чтобы исключить переходное сопротивление контактных щеток. В случае соединения обмотки ротора в звезду при практическом равенстве измеренных сопротивлений сопротивление фазы составит:

$$r_ф = \frac{r_{ср}}{2},$$

где $r_{ср}$ — среднее сопротивление, измеренное на выходных концах ротора электродвигателя.

Если обмотка соединена в треугольник, то сопротивление фазы будет равно:

$$r_ф = \frac{3}{2} r_{ср}.$$

Измерение пусковых сопротивлений в цепи ротора электродвигателя необходимо производить во всех случаях методом амперметра — вольтметра или микроомметром, так как величины ступеней сопротивлений обычно составляют десятые и сотые доли ома. Ошибка при измерениях пусковых сопротивлений может привести в зависимости от величины этой ошибки к ненормальному пусковому режиму электродвигателя. Сопротивления в цепи ротора электродвигателя обусловливают выбранный режим его разгона, а постепенно вводимые сопротивления в этой цепи определяют искусственную механическую характеристику для данного электродвигателя.

Особенности измерения сопротивлений обмоток машин постоянного тока. Измерение сопротивления обмоток постоянному току должно производиться с особой тщательностью, так как только в этом случае могут быть обнаружены даже незначительные изменения сопротивления, указывающие на появление неисправности в обмотках, ухудшение пайки контактов и т. д. Кроме того, точно измеренное сопротивление холодной (до пропускания тока) обмотки дает возможность по измерению сопротивления нагретой обмотки определить температуру ее нагрева. Отклонение сопротивления обмотки возбуждения от паспортных данных завода-изготовителя или ранее измеренных величин не должно быть более 10%.

Измерение сопротивлений неподвижных обмоток. К неподвижным обмоткам относятся обмотки возбуждения — параллельная и последовательная (главных полюсов), обмотка добавочных полюсов и обмотка компенсационная.

Сопротивление обмоток последовательного включения (последовательной обмотки возбуждения, уравнительной обмотки, обмотки добавочных полюсов) невелико и измеряется тысячными долями ома. Все переходные сопротивления в контактах рекомендуется измерять микроомметром М246 (рис. 55), если это требуется по условиям программы наладочных работ.

Для измерения очень малых сопротивлений в обмотках последовательного включения обычно применяются схемы: вольтметра и амперметра (рис. 1, *г* и *д*), одинарно-двойного моста МОД-54 (рис. 48) или двойного моста МТ-5 (рис. 50).

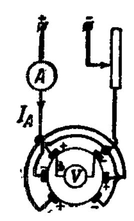


Рис. 95. Измерение сопротивления обмотки якоря коллекторной машины

Измерение сопротивлений должно производиться при установившихся значениях температуры.

Измерение сопротивления обмотки якоря. Этими измерениями контролируется состояние паек петушков коллектора. Кроме того, такие измерения выполняются также в тех случаях, когда на коллекторе наблюдается устойчивое искрение, т. е. когда возможно нарушение контакта или короткое замыкание в секции обмотки.

Измерение сопротивления обмотки якоря можно производить следующими способами:

а) измерения сопротивления в крупных машинах с большими токами производятся методом амперметра и вольтметра только при неподвижном якоре, имеющем температуру окружающей среды. Все щетки накладываются на коллектор, через них к неподвижному якорю подводят ток от независимого источника постоянного тока (рис. 95). Ток, подводимый к якорю, не должен быть большим во избежание нагревания обмотки, а с другой стороны слишком малый ток будет подвержен воздействию переходного сопротивления щеток и может неравномерно распределяться между параллельными цепями обмотки якоря; рекомендуется подводимый ток к якорю принимать в пределах $I_п = 10 \div 20\% \ I_{ном}$. Для измерения напряжения обычно пользуются игольчатыми металлическими щупами (рис. 1, *г*, *д*) или вилками, соединенными гибким проводом соответствующего сечения с милливольтметром. Одну из вилок (или щуп) присоединяют к какой-нибудь пластине коллектора, находящейся под щеткой одной полярности, а другую — к соответствующей пластине под щеткой другой полярности. Так как щетка может перекрывать 2—3 коллекторных пластины, измерение только между этими пластинами может показать неверное падение напряжения; поэтому рекомендуется производить измерения напряжения между всеми соответствующими пластинами под щетками обеих полярностей. Зная измеренное падение напряжения $U_{изм}$ и величину подводимого

через щетки к машине тока $I_п$, сопротивления якоря определяют по формуле

$$R_я = \frac{U_{изм}}{I_п} \text{ ом};$$

б) определение сопротивления якоря в машинах малой и средней мощности (рис. 96) производится также методом амперметра и вольтметра. К неподвижному якорю со снятыми щетками поочередно к каждым двум смежным пластинам подводится постоянный ток порядка от 5 до 10 *а*, например от хорошо заряженной переносной аккумуляторной батареи напряжением 4—6 *в*. Между пластинами, к которым подводится постоянный ток, измеряется падение напряжения, и по полученным величинам определяется сопротивление. При измерении сопротивлений методом вольтметра и амперметра следует соблюдать следующее правило: включать вольтметр после замыкания цепи амперметра и отключать его до размыкания цепи амперметра, для чего в цепь вольтметра обычно вводится пружинный выключатель (рис. 96). Для измерений применяются амперметр М104 (переносный, магнитоэлектрической системы, класса точности 0,2 или 0,5 — рис. 89), многопредельный, с пределами измерения от 1,5 до 30 *а* и милливольтметр М105 или ЛМ-1 (переносный, магнитоэлектрической системы, класса точности 0,2 или 0,5), многопредельный, с пределами измерения от 0 до 45 *мв*. На практике иногда для измерения применяется обычный щитовой амперметр магнитоэлектрической системы со шкалой до 10 *а* и милливольтметр магнитоэлектрической системы со шкалой 15—45 *мв*.

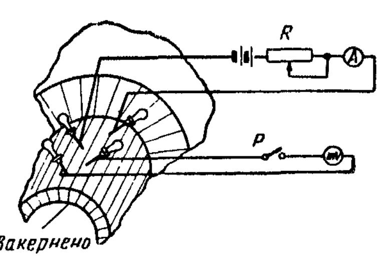


Рис. 96. Схема измерения сопротивления обмотки якоря машины постоянного тока специальными щупами

Перед измерением все коллекторные пластины якоря должны быть предварительно пронумерованы в заранее выбранном направлении мелом или мягким графитным карандашом.

При удовлетворительном состоянии паек сопротивления между каждыми двумя соседними коллекторными пластинами должны быть практически одинаковыми и не должны отличаться друг от друга более чем на 10% меньшего значения, за исключением случаев, когда закономерные колебания обусловлены уравнительными соединениями. При этом следует иметь в виду, что у якорей, имеющих уравнительные соединения, сопротивления между двумя соседними пластинами могут отличаться друг от друга на величину до 20—30%.

Все измерения следует производить тщательно, щупы нажимать равномерно, чтобы они не соскальзывали с коллекторных пластин, так как это может повредить поверхность коллектора;

в) измерение сопротивления обмотки производится с помощью микроомметра М246 согласно описанию, приведенному в главе 2, § 8.

Измерение сопротивления постоянному току (устройств гашения поля, сопротивлений, реостата возбуждения и термодетекторов) производится для проверки исправности цепи и состояния контактов. Измерение сопротивления удобнее всего производить при помощи мостовых схем, например: одинарно-двойными мостами МОД-54 и МТВ, или двойными мостами МД-6, ДМЛ-48 и МТ-5. Качество контактов проверяется путем сравнения измеренных величин с данными предыдущих измерений. Практически измеренная величина сопротивления не должна отличаться от паспортных данных или ранее измеренных величин более чем на 10%; при большей величине следует осмотреть внимательно все контакты, подтянуть ослабевшие и произвести повторное измерение.

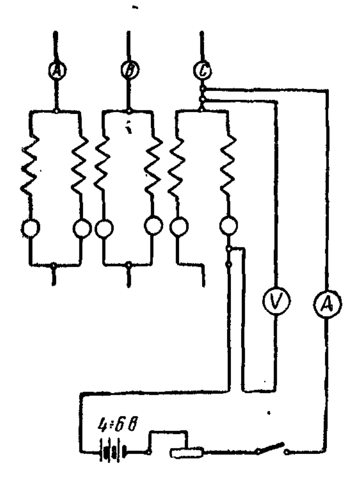


Рис. 97. Схема измерения сопротивления обмотки статора генератора

Измерения сопротивления постоянному току шунтовых реостатов возбудителя и подвозбудителя могут производиться мостом ММВ (рис. 43) или УМВ. Измерения производятся для всего шунтового реостата полностью и на каждом положении ползунка. Измеренная величина сопротивления не должна отличаться от паспортных данных или ранее измеренных величин более чем на 10%.

Измерение сопротивления термодетекторов производится также мостом ММВ или УМВ; величины сопротивлений предыдущих и измеренных значений при одинаковой температуре практически не должны отличаться.

Измерение сопротивления постоянному току обмотки статора и ротора генератора. При измерении сопротивления необходимо руководствоваться указаниями § 2, главы 1, § 5 настоящей главы, а также следующими условиями: измерение производится при обесточенной, разряженной и остановленной машине, т. е. при неподвижном роторе; шинные разъединители отключаются; схема собирается непосред-

ственно у выводных зажимов обмотки статора, чтобы исключить сопротивления подводящих шин и лишних контактов (рис. 97); температура обмотки измеряется не менее, чем четырьмя ртутными термометрами, помещаемыми по два с каждой стороны генератора в лобовые части и в воздушный зазор (торцовые щиты генератора должны быть сняты).

Измерение сопротивления производится для каждой в отдельности фазы или параллельной ветви (при наличии выводов) обмотки статора. Величины сопротивлений отдельных ветвей одной и той же фазы не должны отличаться между собой более чем на 5%, а сопротивления каждой фазы — более чем на 2%.

Измерение сопротивлений всех цепей обмотки статора, как правило, следует производить одинарно-двойными мостами или двойными мостами с пределами измерения, начиная от 10^{-5} до 10^{+6} *ом* (мосты МД-6, МОД-54, ДМЛ-48 и МТВ). При отсутствии мостов измерения могут производиться методом вольтметра и амперметра.

Для измерения сопротивления постоянному току обмотки ротора в холодном состоянии необходимо контактные кольца обтянуть тонкими, туго стянутыми металлическими бандажами, под которые следует подложить зачищенные концы проводников от вольтметра, установленного вблизи ротора.

При измерении сопротивления цепи ротора методом вольтметра и амперметра ток подводится к зажимам бандажа от постороннего источника постоянного тока. Провода от милливольтметра к кольцам ротора следует присоединять только на момент измерения и так, чтобы милливольтметр не измерял падение напряжения в контактах токовых цепей.

В целях ускорения работ по измерению переходных сопротивлений отдельных контактов ротора применяют микроомметр М246.

При измерении методом вольтметра и амперметра сопротивление измеряемой цепи должно определяться как среднее из пяти измерений для обмоток статора и ротора в холодном состоянии и трех измерений — во всех остальных случаях. Никаких поправок на показания приборов (по их градуировочным кривым) вводить не следует.

Если ротор гидрогенератора собирается на монтажной площадке строительства, измерение переходных сопротивлений контактов между катушками полюсов целесообразно производить в процессе сборки ротора, после пайки контактов, до их изолирования. У явнополюсных роторов, помимо общего сопротивления обмотки ротора, измеряются сопротивления обмотки каждого полюса и переходные сопротивления контактов между катушками.

В горячем состоянии сопротивление обмотки ротора можно измерить на работающем генераторе. Для измерения тока рото-

ра в цепи возбуждения последовательно с обмоткой ротора устанавливается проверенный шунт таким образом, чтобы измерялся только ток ротора. Напряжение должно измеряться непосредственно на кольцах ротора, для чего рекомендуется применение медно-сетчатых щеток, прикрепленных к изолированным рукояткам, которые при измерениях прижимаются к кольцам (рис. 98). Если поверхность контактных колец ротора занята работающими щетками, то на каждом из колец можно выделить по одному щеткодержателю, вставив в него специальную изолированную от щеткодержателя щетку.

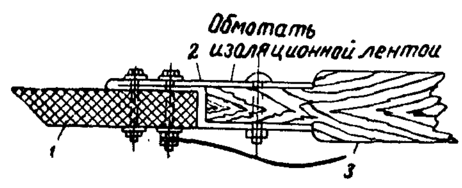


Рис. 98. Медно-сетчатая щетка для измерения:
1 — сетчатая щетка, 2 — медь, 3 — рукоятка деревянная

При измерении тока и напряжения ротора показания обоих приборов необходимо записывать одновременно. Во время измерения регулирование тока возбуждения не должно производиться.

Определение электрического сопротивления постоянному току по показаниям щитовых приборов не допускается, так как это может привести к значительным погрешностям из-за неточности приборов, наличия переходных сопротивлений в щеточном аппарате и падения напряжения в подводящих проводах.

§ 6. ОБОЗНАЧЕНИЯ ВЫВОДОВ ОБМОТОК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Машины постоянного тока. Согласно ГОСТ 183—55 выводы обмоток машин постоянного тока маркируются первыми прописными буквами их наименования со следующими после них цифрами: для начала «1», для конца «2» (табл. 14). При наличии в машине нескольких обмоток одного наименования их начала и концы, помимо буквенных обозначений, должны иметь цифровые обозначения: 1—2, 3—4, 5—6 и т. д. Обозначение вывода должно быть выполнено так, чтобы при правом вращении в режиме электродвигателя ток во всех обмотках (за исключением размагничивающих обмоток на главных полюсах) протекал в направлении от начала «1» к концу «2»; при этом под правым вращением понимается вращение по часовой стрелке, если смотреть на машину со стороны присоединения ее к первичному двигателю или к рабочему механизму.

На рис. 99 приведены схемы соединений выводов различных типов машин постоянного тока для случаев работы их в качестве двигателя и генератора (при согласном включении обмо-

Таблица 14

Маркировка выводов обмоток машин постоянного тока

Наименование обмотки	Начало	Конец
Обмотка якоря	Я1	Я2
Компенсационная обмотка	К1	К2
Обмотка добавочных полюсов (основная)	Д1	Д2
Последовательная обмотка возбуждения (сериесная)	С1	С2
Параллельная обмотка возбуждения (шунтовая)	Ш1	Ш2
Пусковая обмотка	П1	П2
Уравнительный провод и уравнительная обмотка	У1	У2
Обмотка особого назначения	01; 03	02; 04

ток возбуждения) для различных направлений вращения. Левое вращение якоря машины достигается путем изменения направления тока в параллельной обмотке. В этом случае, начало об-

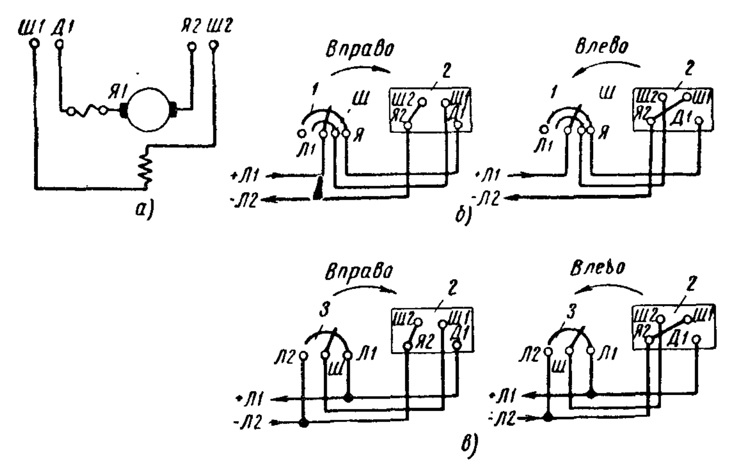


Рис. 99 Схемы расположения выводов машины постоянного тока с параллельным возбуждением:

а — принципиальная схема, *б* — монтажная схема для работы машины в качестве двигателя, *в* — монтажная схема для работы машины в качестве генератора; *1* — пусковой реостат, *2* — доска зажимов, *3* — регулятор возбуждения

мотки (*Я1*) присоединяют к положительному проводу сети. Левое вращение якоря машины достигается также путем изменения направления тока в цепи якоря и при этом *Я1* присоединяется к отрицательному проводу сети.

В рассматриваемых схемах все требуемые соединения для различных направлений вращения выполнены (при согласном

включении последовательной обмотки) так, чтобы намагничивание от последовательной и параллельной обмоток совпадало по направлению; при переходе от режима генератора к режиму двигателя или наоборот и сохранении при этом соединения их выводов и направления вращения ток в якоре и добавочных полюсах изменяет свое направление на обратное, а в последовательной и параллельной обмотках возбуждения сохраняет свое направление.

В схемах, приведенных на рис. 99, изменение направления вращения при сохранении режима двигателя или генератора осуществляется изменением направления тока; либо во всех обмотках последовательного питания, либо во всех обмотках параллельного или независимого питания главных полюсов. Во всякой машине можно изменить направление тока одновременно во всех обмотках без изменения режима и направления вращения. Отсюда следует, что во всякой машине можно переменить местами обозначения начал и концов всех обмоток одновременно. Все обмотки последовательной цепи можно менять местами с сохранением направления тока в них, и от этого работа машины не нарушается.

Задача проверки правильности соединения обмоток между собой и с выводами на щитке машины постоянного тока сводится к определению их начал и концов. В соответствии с указанными условиями в машинах правого вращения начало обмотки якоря (*Я1*) находится на щетках той полярности, к которой присоединяют положительный провод сети независимо от

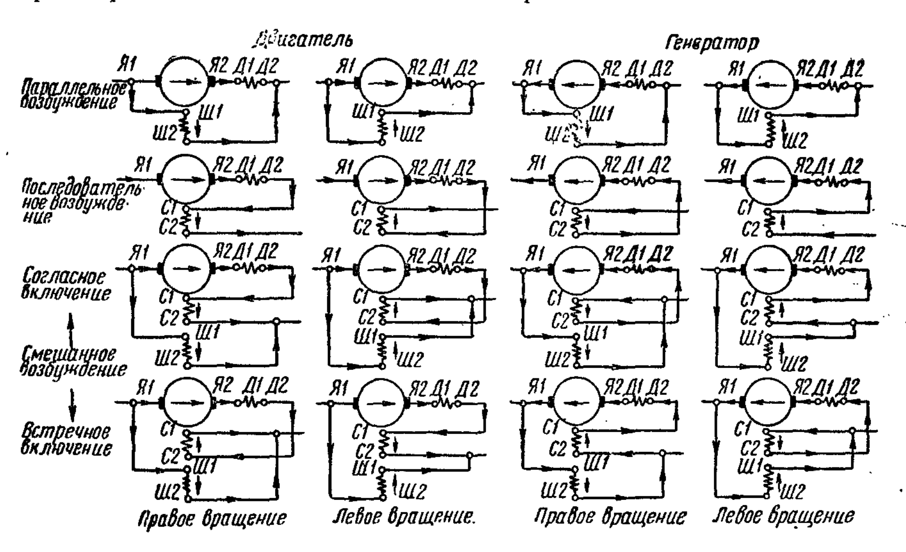


Рис. 100. Обозначения выводов обмоток при различных системах возбуждения, режимах и направлениях вращения

того, работает ли машина в качестве электродвигателя или генератора. Другими словами, в двигателе ток из сети направляется к *Я1*, а в генераторе — от *Я1* в сеть. На рис. 100 приведены обозначения выводов обмоток при различных системах возбуждения, режимах и направлениях вращения.

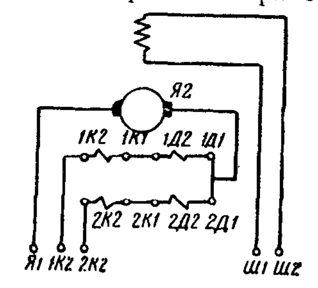


Рис. 101. Схемы выводов машины постоянного тока с параллельными ветвями последовательных обмоток

В небольших машинах выводы обмоток обычно сосредоточены на доске зажимов (рис. 99), причем один из зажимов якоря и один из зажимов добавочных полюсов соединены наглухо внутри машины, а на доску зажимов выведены другие зажимы якоря и добавочных полюсов. В крупных машинах с большими токами доска зажимов отсутствует и выводные концы прикрепляют к нижней части станины машины, причем выводные концы последовательной цепи выполняют в виде шин, а параллельной — в виде кабелей с наконечниками (зажимы якоря *Я1*, компенсационной обмотки *К2*, параллельной обмотки возбуждения *Ш1* и *Ш2* и других обмоток).

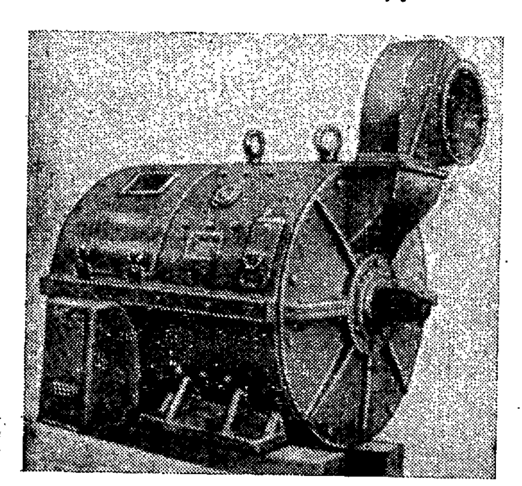


Рис. 102. Общий вид электродвигателя МП-735 750 закрытого исполнения

В крупных машинах (генераторах и электродвигателях) катушки главных полюсов изготовляются из голой полосовой меди, намотанной на ребро, катушки добавочных полюсов также выполняются из полосовой меди. Обмотки добавочных полюсов и компенсационные обмотки выполняются в виде двух параллельных ветвей каждая, причем каждую ветвь обмотки добавочных полюсов соединяют последовательно с соседней ветвью компенсационной обмотки. На рис. 101 показана схема соединений обмоток крупного электродвигателя постоянного тока МП. Отдельные ветви обмоток добавочных полюсов и компенсационной обозначены дополнительными цифрами *1* и *2* перед буквами *Д* и *К*; эти цифры

относятся соответственно к первой и второй частям этих обмоток. Общий вид подобных электродвигателей постоянного тока показан на рис. 102.

Машины переменного тока. Согласно ГОСТ 183—55 в машинах переменного тока выводы обмоток должны обозначаться следующим образом: статора синхронных и асинхронных машин — буквой С; ротора асинхронных машин — буквой Р; возбуждения (индуктора) синхронных машин — буквой И; начала фаз трехфазных обмоток — цифрами 1, 2, 3, концы фаз — цифрами 4, 5, 6; нулевая точка (независимо от того, заземлена она или нет) — цифрой 0.

Выводы трехфазных машин, не имеющих составных и секционированных обмоток на статоре (якоре), и выводы обмоток возбуждения синхронных машин обозначаются в соответствии с табл. 15.

Таблица 15

Наименование выводов и их обозначения

Наименование и схема соединений обмоток	Число выводов	Название выводов	Обозначения выводов
Обмотки статора (якоря):			
открытая схема	6	Первая фаза	Начало С1, конец С4
		Вторая »	Начало С2, конец С5
		Третья »	Начало С3, конец С6
соединение звездой	3 или 4	Первая »	С1
		Вторая »	С2
		Третья »	С3
		Нулевая точка	0
соединение треугольником	3	Первый зажим	С1
		Второй »	С2
		Третий »	С3
Обмотки возбуждения (индукторов) синхронных машин	2	—	Начало И1, конец И2

Для машины с одним направлением вращения порядок чередования обозначений выводов должен соответствовать порядку следования фаз для данного направления вращения. Выводы машин переменного тока, имеющих сложные обмотки (двойные, тройные) и секционированные обмотки должны обозначаться теми же буквами, что и простые обмотки, но с дополнительными цифрами впереди прописных букв согласно табл. 16.

Таблица 16

Обозначения выводов секционированных обмоток

Для первой обмотки		Для второй обмотки	
1С1 1С2 1С3	1С4 1С5 1С6	2С1 2С2 2С3	2С4 2С5 2С6

Выводы асинхронных электродвигателей, имеющих секционированные обмотки, позволяющие переключать число полюсов, должны обозначаться согласно табл. 17 теми же буквами, что

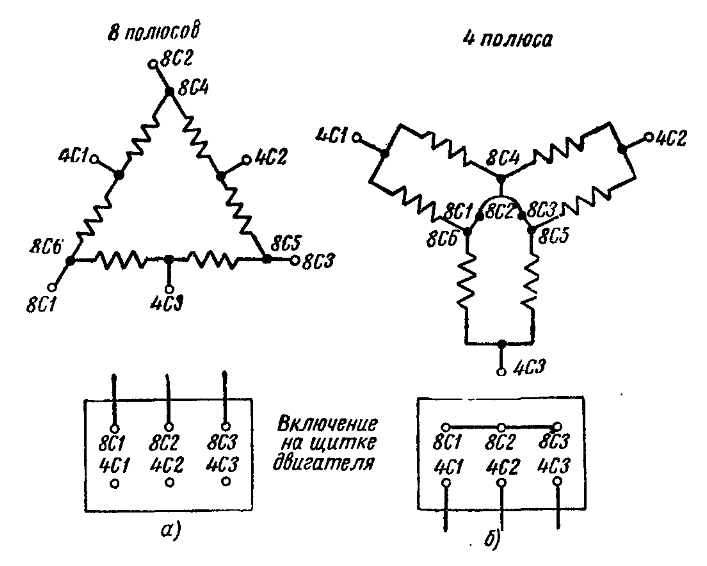


Рис. 103. Схемы соединения обмоток асинхронного электродвигателя при изменении числа полюсов:

а — включение фаз обмоток в треугольник при восьми полюсах, *б* — включение обмоток при четырех полюсах

и простые обмотки, но с дополнительными цифрами впереди, указывающими на число полюсов данной секции (рис. 103).

Выводы обмоток ротора трехфазных асинхронных электродвигателей должны обозначаться в соответствии с табл. 18.

Контактные кольца роторов асинхронных электродвигателей трехфазного и однофазного тока должны обозначаться буквами присоединенных к ним выводов обмотки ротора; при этом расположение колец должно быть в порядке указанных букв.

Таблица 17

Обозначения выводов многоскоростных электродвигателей

Для 4 полюсов	Для 6 полюсов	Для 8 полюсов
4C1 4C2 4C3	6C1 6C2 6C3	8C1 8C2 8C3

Таблица 18

Обозначения выводов обмоток ротора

Число выводов на контактных кольцах	Наименование выводов	Обозначения выводов
3	Первая фаза Вторая » Третья »	P1 P2 P3
4	Первая фаза Вторая » Третья » Нулевая точка	P1 P2 P3 0

а кольцо *P1* должно быть наиболее удаленным от обмотки ротора.

Выводы обмоток однофазных машин должны обозначаться в соответствии с табл. 19.

Таблица 19

Обозначения выводов обмоток однофазных машин

Наименование обмоток	Число выводов	Обозначения	
		начало	конец
Обмотки статора (якоря) синхронных машин	2	C1	C2
Обмотки статора асинхронных электродвигателей:			
главная обмотка	2	C1	C2
пусковая обмотка	2	П1	П2
Обмотка возбуждения (индукторов) синхронных машин	2	И1	И2

На рис. 104 приведены схемы расположения выводов статорных обмоток трехфазных машин (синхронных, асинхронных) при наличии трех выводов и соединении фаз соответственно в

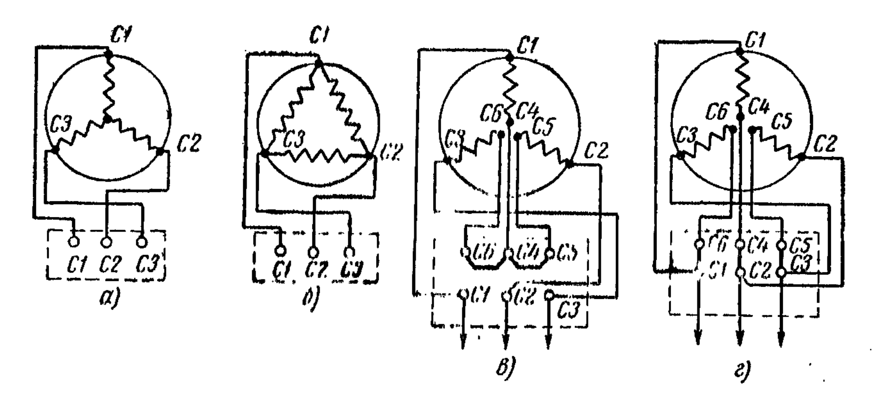


Рис. 104. Расположение выводов статорных обмоток трехфазных машин:

а — синхронная или асинхронная машина с тремя выводами, соединение обмоток в звезду, *б* — синхронная или асинхронная машина с тремя выводами, соединение обмоток в треугольник, *в* — синхронная или асинхронная машина с шестью выводами, соединение обмоток в звезду, *г* — синхронная или асинхронная машина с шестью выводами, соединение обмоток в треугольник

звезду и треугольник (рис. 104, *а*, *б*) и шести выводов при соединении обмоток в звезду и треугольник (рис. 104, *в*, *г*). Очень часто выводы обмоток всех фаз на заводском щитке электриче-

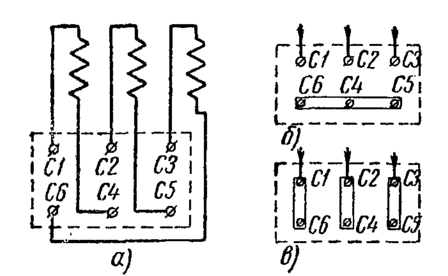


Рис. 105. Расположение выводов на заводском щитке:

а — схема присоединения обмоток статора к зажимам, *б* — включение обмоток статора в звезду, *в* — включение обмоток статора в треугольник

ской машины переменного тока присоединяются, как указано на рис. 105, *а*. Приведенная конструкция дает возможность получить соединение в звезду при горизонтальном расположении

перемычек (рис. 105, *б*) и соединение в треугольник при их вертикальном расположении (рис. 105, *в*).

С шестью выводами крупные машины изготовляются для возможности установки трансформаторов тока релейной защиты машины (генератора). На рис. 106 приведены схемы расположения выводов статорных обмоток крупных турбогенераторов, если смотреть на выводы со стороны возбудителя; в первом ряду находятся выводы *С1, С6, С2, С5, С3* и *С4*, а во втором ряду (за первым рядом) — выводы *1С1, 1С2, 1С3* и т. д. Каждая фаза состоит из двух ветвей. На рис. 106, *а* показана схема расположения шести, на рис. 106, *б* — девяти и на рис. 106, *в* — двенадцати выводов.

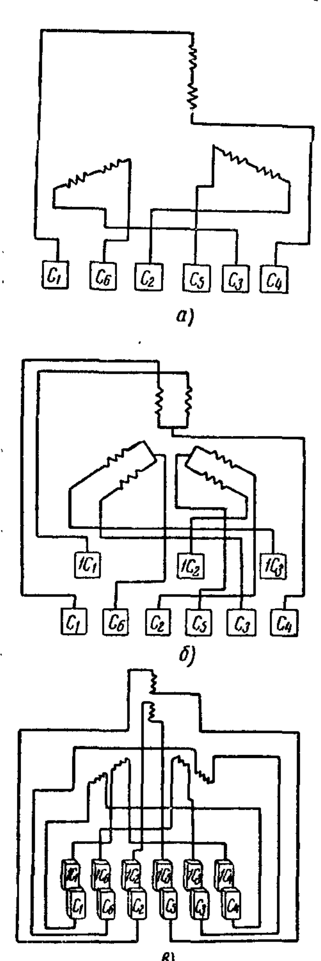


Рис. 106. Схемы расположения выводов статорных обмоток крупных турбогенераторов:

а — шесть выводов, *б* — девять выводов, *в* — двенадцать выводов

Вывод обмотки статора генератора обычно закрепляется в одинаковых колодках, расположенных в нижней части статора со стороны возбудителя. В зависимости от числа параллельных ветвей обмотки и ее конструктивного выполнения имеется 6, 9 или 12 выводов. Расположение выводов под машиной и маркировка их указываются в монтажном чертеже, которым и следует руководствоваться при присоединении выводов статора генератора к шинам и при последующей их проверке наладчиками.

§ 7. ПРОВЕРКА ПРАВИЛЬНОСТИ ВКЛЮЧЕНИЯ ОБМОТОК МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

Общие замечания. Машины постоянного тока имеют сложные и разнообразные внутренние соединения обмоток по сравнению с другими машинами. Ошибки в соединениях обмоток машин постоянного тока встречаются очень часто и большинство из них приходится на долю соединений внутри магнитной системы. Обычно обнаружить их при собранной машине довольно трудно, поэтому рекомендуется, если представляется такая возмож-

шить, производить проверку правильности соединений до сборки машины, когда доступна ее магнитная система. На рис. 107, *а* показано последовательное соединение всех катушек главных полюсов, при этом: начало *Н1* соединяется с началом *Н2*, конец *К2* с концом *К3*, начало *Н3* с началом *Н4*, конец *К4* с концом *К5* и начало *Н5* с началом *Н6* и т. д. На рис. 107, *б* дано параллельное соединение катушек полюсов; в одной ветви находятся все четные полюсы, в другой — нечетные.

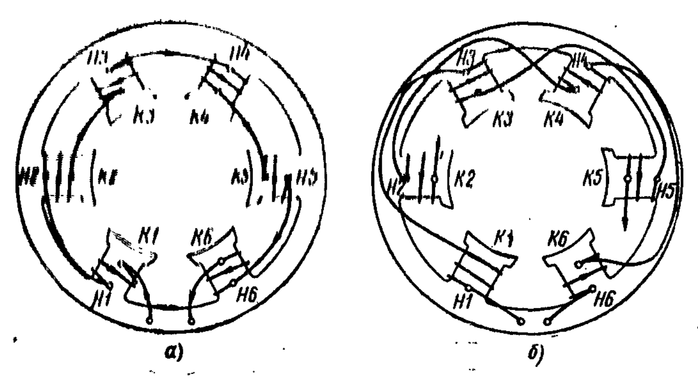


Рис. 107. Соединение катушек полюсов:
а — последовательное, *б* — параллельное

Проверка полярности полюсов. Проверкой правильности соединения обмоток полюсов, во-первых, устанавливают, обеспечивают ли соединения катушек главных и дополнительных полюсов правильность чередования полярности, во-вторых, определяют правильность включения каждой обмотки в целом. Чередование полярности дополнительных и главных полюсов должно быть вполне определенным для данного направления вращения машины, в зависимости от того, работает ли она в качестве двигателя или генератора. При работе машины в качестве генератора главные и дополнительные полюса должны чередоваться так, чтобы по направлению вращения машины за любым главным полюсом находился разноименный дополнительный (*С — ю — Ю — с*), а при работе машины в качестве двигателя — за главным находился одноименный дополнительный (*С — с — Ю — ю*), где *С* и *Ю* — главные полюса, *с* и *ю* — дополнительные полюса. Следовательно, при переходе от полюса к полюсу по направлению вращения машины, после каждого главного полюса следует дополнительный полюс той же полярности при работе в режиме двигателя и противоположной полярности при работе в режиме генератора. Ниже приво-

дятся различные способы определения чередования полярности полюсов.

Определение чередования полюсов внешним осмотром. При доступных обмотках и наглядности выполнения катушек или когда известно, что все катушки имеют одинаковое направление намотки и одинаковое расположение одноименных выводов можно осмотром проследить направление протекания тока по обмотке и, пользуясь известным правилом буравчика, определить полярность полюсов, задаваясь условным направлением тока. Особенно этот способ удобен для катушек последовательных обмоток, у которых благодаря большому сечению витков направление намотки наиболее наглядно. Способ этот может быть применен также в тех случаях, когда

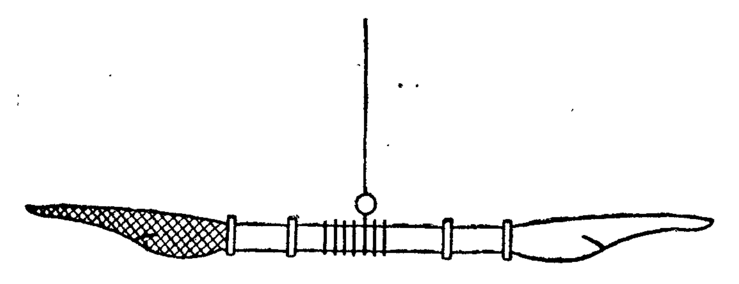


Рис. 108. Вид стального пера, используемого в качестве магнитной стрелки

направление намотки не удается проследить, но заранее известно, что все катушки данной обмотки выполнены одинаково и имеют одинаковое расположение начал и концов.

Определение чередования полюсов магнитной стрелкой (рис. 108). Для этого в параллельную обмотку полюсов подают ток, подвешивают магнитную стрелку на короткой тонкой и гибкой нити и осторожно во избежание перемагничивания приближают стрелку поочередно к каждому полюсу с наружной стороны станины машин закрытого типа, т. е. к головкам болтов, крепящих главные полюса к станине. При разобранной машине магнитную стрелку приближают к внутренней поверхности полюсов, а при собранной машине — к полюсным наконечникам. Зная показания стрелки, около болтов или на другом месте мелом отмечается полярность полюсов. Если полярность стрелки неизвестна, то полярность полюсов указывается условно. В качестве магнитной стрелки могут быть использованы два плотно связанных проволокой стальных пера, предварительно намагниченные и с помеченной полярностью.

Способ магнитной стрелки при умелом его использовании, главным образом для параллельных обмоток полюсов, является

весьма надежным. Однако применение способа магнитной стрелки встречает некоторые затруднения, например при определении полярности полюсов в машинах с последовательными обмотками (с последовательной обмоткой главных полюсов, обмоткой дополнительных полюсов), так как для питания обмоток, состоящих обычно из очень небольшого числа витков, требуется значительный ток при низком напряжении, что не всегда возможно. При недостаточном токе и слабом поле намагничивания, если при этом учесть, что магнитная система обладает остаточным намагничиванием, магнитная стрелка может дать неправильные показания. В таком случае рекомендуется до включения тока в обмотку определить стрелкой наличие остаточного намагничивания, а затем приступить к определению чередования полюсов описанным выше способом.

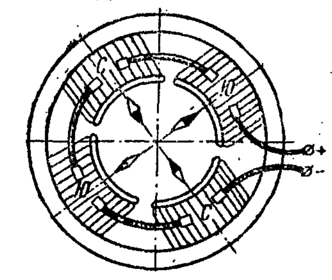


Рис. 109. Проверка полярности и чередования полюсов специальным прибором

Для определения полярности полюсов вместо магнитной стрелки весьма удобно пользоваться при наладке специальным прибором, состоящим из миниатюрной двухполюсной магнитной системы (рис. 109), шихтованной из трансформаторной стали, и подвижной рамки. При включении параллельной обмотки машины прибор прикладывают к одному из полюсов. Под воздействием магнитного поля последнего рамка прибора поворачивается в определенную сторону и связанная с ней стрелка показывает полярность проверяемого полюса.

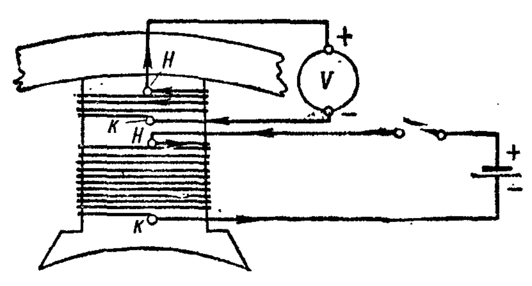


Рис. 110. Схема определения правильности включения последовательной обмотки по отношению к параллельной

Определение правильности включения последовательной обмотки по отношению к параллельной, сидящей на одном общем полюсе с первой, может производиться в случае, если известны одноименные зажимы этих обмоток. Для этого в одну из обмоток подают питание (рис. 110), при этом в момент включения рубильника во второй обмотке индуктируется э. д. с., направление которой может быть определено вольтметром. Обе обмотки имеют одинаковые

направления и отклонение стрелки вольтметра будет положительным (вправо от нуля), если положительный зажим от источника питания (аккумуляторная) и положительный зажим вольтметра присоединены к одноименным зажимам. Следует иметь в виду, что во всех случаях питания током обмоток генератора с самовозбуждением необходимо во избежание перемагничивания машины плюс сети присоединять к соответствующим зажимам параллельной и последовательной обмоток возбуждения.

Определение правильности присоединения обмотки добавочных полюсов по отношению к обмотке якоря. Известно, что машины постоянного тока независимо от направления вращения и от того, работают ли они в качестве двигателя или генератора, имеют одинаковое соединение якоря и добавочных полюсов. Это соединение обычно выполняется внутри машины и подлежит проверке только во время сборки новой машины или после ее капитального ремонта. С этой целью к якорю присоединяется источник постоянного тока (аккумулятора), а к добавочным полюсам — милливольтметр (рис. 111, *а*). В тех случаях, когда обмотки добавочных полюсов чередуются с участками компенсационной обмотки, вольтметр путем пересоединений присоединяется к их общим выводам таким образом, чтобы в момент включения аккумулятора стрелка прибора отклонилась вправо (в положительном направлении). Полярность обмоток отмечается мелом.

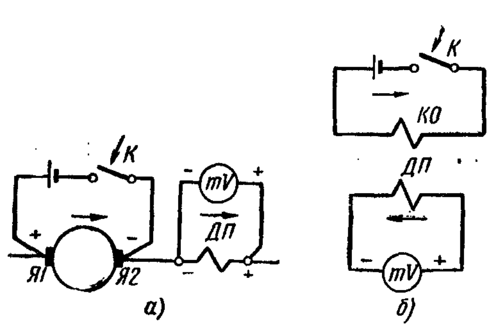


Рис. 111. Схемы проверки правильности присоединения добавочных полюсов:

а — взаимного включения якоря и дополнительных полюсов, *б* — взаимного включения компенсационной обмотки и дополнительных полюсов

При правильном включении ампер-витки компенсационной обмотки *КО* и добавочных полюсов *ДП* направлены против ампер-витков якоря. Поэтому якорь и *ДП* должны быть соединены одноименными условными выводами, т. е. плюс якоря с плюсом *ДП* (или минус якоря с минусом *ДП*).

Проверка включения компенсационной обмотки *КО*. Магнитный поток *КО* должен иметь то же направление, что и поток добавочных полюсов *ДП*. При раздельных обмотках *ДП* и *КО* полярность их может быть проверена индуктивным методом (рис. 111, *б*). После определения полярности выводов обмотки соединяются последовательно, т. е. плюс одной обмотки с минусом другой.

В крупных машинах, у которых *ДП* чередуются с участками *КО*, полярность последней может быть проверена наружным осмотром направления намотки витков (по ходу тока) с соответствующей разметкой мелом торцов стержней обмотки. В случае, если по местным условиям не представляется возможным обеспечить питание обмоток постоянным током достаточной величины, то проверить правильность включения обмотки добавочных полюсов и компенсационной обмотки по отношению к якорю можно с помощью переменного тока, через понижающий трансформатор от осветительной сети, при этом измерение может быть произведено и при небольшом токе. Для этого в цепь, составленную из обмотки добавочных полюсов и компенсационной обмотки, если она имеется, и обмотки якоря, подается переменный ток и с помощью вольтметра и амперметра определяют полное (кажущееся) сопротивление этой цепи (рис. 112). Затем или щеточная траверса поворачивается на одно полюсное деление, или, если это нежелательно, обмотка якоря и обмотка добавочных полюсов включаются в противоположном направлении по отношению друг к другу, и измерение полного сопротивления повторяется.

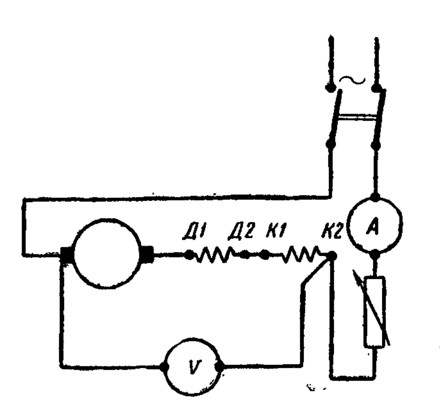


Рис. 112. Схема определения переменным током правильности включения обмотки добавочных полюсов и компенсационной обмотки

Правильным соединением обмоток считается такое, при котором полное сопротивление имеет меньшую величину. Это объясняется тем, что при правильном включении компенсационной обмотки и обмотки дополнительных полюсов магнитное поле якоря направлено против поля дополнительных полюсов и компенсационной обмотки, т. е. навстречу друг другу. Таким образом у последовательно соединенных обмоток, создающих встречные магнитные потоки, сопротивление переменному току будет меньше сопротивления обмоток, создающих одинаково направленные потоки.

Таким же способом может быть произведена проверка правильности включения последовательной обмотки возбуждения; для этого нужно сдвинуть щетки на половину полюсного деления в произвольную сторону и произвести такие же два измерения (величин тока и напряжения) и по ним определить полные сопротивления, как сказано выше. Меньшее значение полного

сопротивления указывает, что полярность последовательной обмотки возбуждения совпадает с полярностью правильно включенной обмотки добавочных полюсов.

Определение полярности щеток. В отдельных случаях может потребоваться определение полярности щеток при заданном направлении вращения машины и заданной полярности главных полюсов. Отыскание полярности щеток может быть выполнено одним из следующих способов:

1. К двум точкам коллектора *а* и *б*, отстоящим примерно на равном расстоянии от разноименных смежных щеток (рис. 113), присоединяется вольтметр. В момент включения возбуждения по отклонению стрелки вольтметра и маркировке его зажимов определяется полярность точек *а* и *б*, т. е. если стрелка отклоняется вправо, то плюс будет в точке *а* и минус в точке *б*. Отнеся найденную полярность к ближайщим щеткам против направления вращения, получим полярность этих щеток.

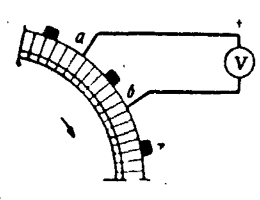


Рис. 113. Определение полярности щеток при заданной полярности главных полюсов и заданном направлении вращения

2. В обмотку возбуждения машины подается ток возбуждения заданной полярности. К щеткам якоря присоединяется магнитоэлектрический вольтметр со шкалой 15 — 30 *в*, после чего якорю дается небольшой толчок в сторону заданного вращения машины от руки, рычагом, талью или краном. Отклонение стрелки вольтметра покажет полярность щеток. Зная полярность зажимов обмотки возбуждения и определив вышеуказанным способом полярность щеток поворотом якоря, можно определить правильное соединение выводов всех обмоток. Точно так же, зная полярность щеток и выводов обмотки возбуждения, определяют необходимое соединение выводов всех обмоток и требуемое направление вращения.

В итоге следует отметить, что неправильные соединения в машинах постоянного тока, не выявленные в процессе наладки, не всегда проявляют себя в первые дни опробования механизмов. Например, неправильно присоединенные добавочные полюса при малых нагрузках могут не вызвать отрицательных явлений, и только после увеличения нагрузки появится прогрессирующее искрение на коллекторе; точно так же неправильно включенная последовательная обмотка электродвигателя даст свои отрицательные показатели только с увеличением нагрузки на валу, что приведет к повышению скорости вращения и увеличению потребления тока из сети. Поэтому в первые дни работы механизмов под нагрузкой требуется внимательное наблюдение за работой машины и за всеми ее параметрами — током, напряжением, скоростью вращения (*об/мин*), состоянием коллектора, щеточного механизма и т. д.

§ 8. ПРОВЕРКА ПРАВИЛЬНОСТИ ВКЛЮЧЕНИЯ ОБМОТОК МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Проверка правильности соединений выводов обмоток машин трехфазного тока сводится к определению начал и концов каждой фазы. В случае отсутствия маркировки, а также при наладке машин полярность выводов трехфазных обмоток может проверяться несколькими способами, наиболее распространенные из которых рассматриваются ниже.

При первом способе с помощью мегомметра или контрольной лампы определяют попарно концы обмоток отдельных фаз. Затем к обмотке одной из фаз присоединяют через рубильник (рис. 114, *а*) такой источник постоянного тока, чтобы по обмотке протекал небольшой ток, например аккумуляторную батарею или сухой элемент напряжением 2 *в;* для регулирования величины тока в цепь включают регулировочный реостат. В момент включения или отключения рубильника в обмотках двух других фаз будет индуктироваться электродвижущая сила, причем направление этой электродвижущей силы будет зависеть от полярности концов обмотки фазы, в которую включен аккумулятор или сухой элемент C_1, C_2 и C_3, примем за начала фаз *1*, *2* и *3*; C_4, C_5 и C_6 — за концы этих фаз. Если начало C_1 фазы *1* присоединить к «плюсу» источника постоянного тока, а конец C_4 через регулируемое сопротивление — к «минусу» (рис. 114, *а*), то в момент включения тока в обмотках других фаз (*2* и *3*) будет индуктироваться электродвижущая сила с полярностью «минус» на началах C_2 и C_3 и «плюс» на концах C_5 и C_6. В момент отключения тока в фазе *1* полярность на концах фаз *2* и *3* будет противоположна полярности при их включении.

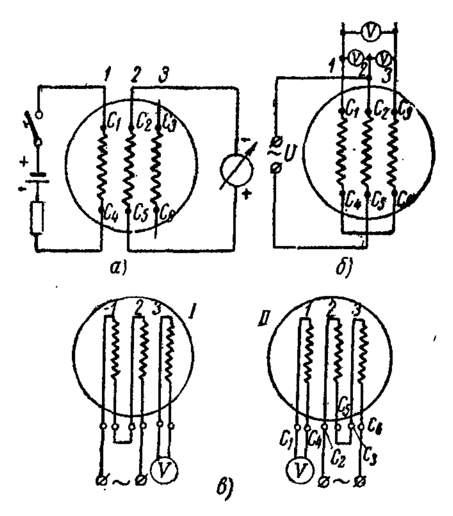


Рис. 114. Определение начал и концов обмоток:

а — первый способ, *б* — второй способ, *в* — третий способ

Полярность определяется милливольтметром или поляризованным гальванометром. После измерения фазы *1* источник постоянного тока присоединяют к фазе *3* и, если при этом стрел-

ка милливольтметра или гальванометра будет отклоняться в ту же сторону, значит все концы обмоток были замаркированы правильно.

При втором способе концы обмоток трех фаз (C_4, C_5 и C_6) соединяют в звезду или треугольник (рис. 114, *б*) и на фазу *2* подают однофазный ток пониженного напряжения *U*. В этом случае между концами C_1 и C_2, а также C_2 и C_3 возникнет напряжение несколько больше подведенного, а между концами C_1 и C_3 напряжение будет равно нулю. Если концы фазы *1* или *3* включены неправильно, т. е. разноименными концами, то напряжение между концами C_1 и C_2 или C_2 и C_3 будет меньше подведенного. После определения взаимного соответствия выводов первых двух фаз аналогично маркируются выводы третьей фазы.

При третьем способе возможны два варианта.

В первом варианте фазы *1* и *2* соединяются последовательно, а к выводам фазы *3* присоединяется вольтметр *V*. Если при включении в последовательно соединенные фазы *1* и *2* однофазного тока напряжением *U* вольтметр покажет также величину, близкую к *U*, то фазы *1* и *2* соединены таким образом: C_1—C_4—C_2 — C_5; если стрелка вольтметра не отклонится, то фазы соединены соответственно C_1 — C_4 — C_5 — C_2 (рис. 114, *в I*).

Во втором — фазы *2* и *3* соединяются последовательно, а вольтметр *V* присоединяется к выводам фазы *1* (рис. 114, *в II*). Аналогично предыдущему примеру в зависимости от показаний вольтметра у фазы *3* могут быть следующие соединения: C_3 — C_6 или C_6 — C_3. Вместо вольтметра может быть включена лампа накаливания на напряжение, равное подводимому испытательному напряжению. Точно так же вместо однофазного переменного тока может быть присоединен источник постоянного тока с ключом для быстрого замыкания и размыкания цепи.

При двух последних способах проверку правильности соединения выводов обмоток короткозамкнутого асинхронного электродвигателя следует проводить при напряжении переменного тока, равного $^1/_5$—$^1/_6$ номинального, во избежание перегрева обмоток; обмотка ротора фазного электродвигателя должна быть разомкнута.

Для асинхронных электродвигателей малой мощности можно производить проверку маркировки выводов с помощью батарейки карманного фонаря. Обмотка двигателя произвольно соединяется в звезду (рис. 115). Ключом кратковременно подается напряжение от батареи карманного фонаря *Б* попеременно на обмотки *А*, *В* и *С*. В случае правильного соединения гальванометр при всех измерениях покажет нуль, при неправильном соединении одной фазы гальванометр два раза покажет максимум и один раз — нуль в той фазе, у которой надо выводы поменять местами. В качестве гальванометра можно также применить миллиамперметр с нулем посредине шкалы.

На рис. 116 показана монтажная схема аппарата, при помощи которого можно быстро определять правильность соединения выводов обмотки. Обмотка произвольно соединяется в звезду. Затем поочередно нажимают кнопки *1*, *2*, *3*. При правильном соединении гальванометр покажет нуль во всех трех слу-

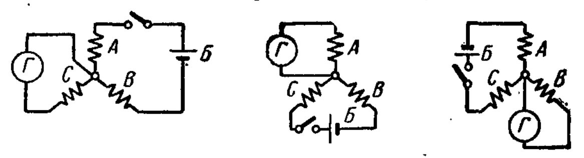


Рис. 115. Схема проверки маркировки выводов статора асинхронного электродвигателя малой мощности с помощью источника постоянного тока

чаях. Если при нажатии кнопок *1* и *3* стрелка гальванометра отклоняется, а при нажатии кнопки *2* стоит на нуле, то надо поменять местами выводы фазы. В качестве гальванометра может быть применен также миллиамперметр с нулем посредине.

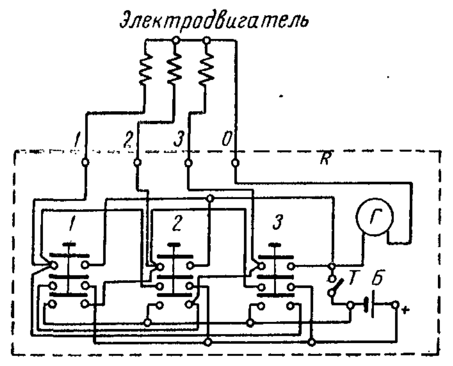


Рис. 116. Монтажная схема аппарата для определения маркировки обмоток трехфазных электродвигателей

Удобными и совершенными аппаратами для проверки правильности соединения обмоток всех типов электрических машин являются аппараты ЕЛ1 (глава 2, § 14).

Определение направления вращения электродвигателя переменного тока. Для получения правильного направления вращения электродвигателя необходимо согласовать фазировку питающего кабеля с маркировкой выводов статора. Чередование фаз сети определяется с помощью специального фазоуказателя, а при его отсутствии — путем пробного включения небольшого асинхронного электродвигателя, имеющего проверенную маркировку выводов статора. При

наладке высоковольтных электродвигателей фазоуказатель включается через трехфазный трансформатор напряжения. У новых машин правильное направление вращения можно получить, проверив чередование фаз и присоединив жилы питающего кабеля к однофазным выводам статора, т. е. фазу *1* к *C1*, фазу *2* к *C2* и фазу *3* к *C3*.

§ 9. ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК ОТНОСИТЕЛЬНО КОРПУСА МАШИНЫ И МЕЖДУ ОБМОТКАМИ ПОВЫШЕННЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ

Испытание изоляции обмоток. Все вновь устанавливаемые электрические машины, а также машины, прошедшие ремонт, должны быть испытаны на электрическую прочность изоляции обмоток. Как правило, это испытание производится после окончания всех монтажных и наладочных работ, предшествующих пробному пуску.

Согласно ГОСТ 183—55 каждая электрическая машина должна выдерживать без повреждения изоляции испытание электрической прочности изоляции обмоток относительно корпуса машины и между обмотками и испытание электрической прочности междувитковой изоляции обмоток.

Испытание электрической прочности изоляции обмоток статора относительно корпуса машины и между обмотками производят при неподвижной и отключенной машине, а обмотки ротора генератора — желательно при вращении ротора с номинальной скоростью. Обмотки ротора испытываются при вращении, потому что под влиянием центробежных сил может повреждаться изоляция, особенно в лобовых частях.

Испытанию электрической прочности изоляции обмоток подвергается машина, практически находящаяся в холодном состоянии. Этому испытанию должны предшествовать проверка сопротивления изоляции обмоток и испытание при кратковременной перегрузке по току. Если электрическая машина испытывается на нагревание, то испытание электрической прочности изоляции обмоток должно производиться непосредственно вслед за испытанием на нагревание. Испытанию электрической прочности подвергается поочередно каждая электрически независимая цепь. При этом один полюс источника испытательного напряжения присоединяют к выводу испытуемой обмотки, а другой — к заземленному корпусу машины, с которым на время испытания данной обмотки соединяются электрически все прочие обмотки, не участвующие в испытании.

В машинах постоянного тока обмотки параллельного или независимого возбуждения как главных, так и добавочных полюсов должны рассматриваться как электрически независимые цепи; обмотки якоря и соединенные последовательно с ней об-

мотки главных полюсов считаются за одну цепь. Соединенные между собой многофазные обмотки считают за одну цепь, если начало и конец каждой фазы не выведены к специальным зажимам. Тогда всю многофазную обмотку испытывают относительно корпуса машины целиком, т. е. если обмотки соединены внутри машины в звезду или треугольник, то испытание изоляции от корпуса производится одновременно для всей обмотки.

При наличии выводов от начала и конца каждой фазы испытание относительно корпуса машины должно быть произведено поочередно для каждой фазы при присоединенных к корпусу машины прочих фазах, т. е. повышенное испытательное напряжение промышленной частоты должно прикладываться к каждой фазе статора относительно корпуса и двух заземленных фаз машины переменного тока. Если одна из обмоток машины при номинальном режиме работы связана с корпусом машины, то на время испытания электрической прочности изоляции такой обмотки она должна быть отсоединена от корпуса машины, т. е. изолированные обмотки, постоянно соедиенные с корпусом, должны быть на время испытания отсоединены от него.

При производстве испытаний электрической прочности изоляции обмоток испытательное напряжение не должно прикладываться мгновенно, так как при этом может быть пробита полноценная изоляция. Испытание должно начинаться с напряжения, не превышающего одной трети испытательного. Подъем напряжения до полного значения испытательного напряжения производят постепенно или ступенями, не превышающими 5% полного значения, при этом время, допускаемое для подъема испытательного напряжения от половинного до полного значения, должно быть не менее 10 *сек*. Полное испытательное напряжение выдерживают в течение 1 *мин*, после чего его плавно снижают до $^1/_3$ значения и отключают; продолжительность снижения напряжения стандартом не установлена. По окончании испытания высоким напряжением необходимо обмотку разрядить, соединив ее с корпусом машины, и вновь произвести измерение сопротивления изоляции мегомметром на напряжение 1000—2500 *в* в течение 1 *мин*. Испытательное напряжение должно быть синусоидальным. При испытании на электрическую прочность высокое напряжение подается от испытательного трансформатора мощностью не менее 1 *ква* на 1 *кв* испытательного напряжения для обмотки.

Результаты испытания изоляции считаются удовлетворительными, если во время испытания не произошло ее пробоя или перекрытия и по приборам не наблюдалось резких толчков, свидетельствующих о частичных повреждениях изоляции; при этом явление короны или возникновение поверхностных скользящих разрядов во внимание не принимается. Необходимо учитывать, что пробой по поверхности (в отличие от поверхностного

разряда) прекращается только после более или менее сильного понижения напряжения и что при повторном приложении напряжения пробой начинается при значительно меньшей величине. Пробой по поверхности в ряде случаев сопровождается обугливанием поверхности изоляции и резким понижением ее сопротивления, что является недопустимым. Например, если при испытании произошел пробой изоляции, необходимо найти место пробоя и устранить его. Обычно место пробоя определяется повторным приложением напряжения, при появлении искр, дыма и пр. В том случае, если место пробоя скрыто от наблюдения и находится в пазовой изоляции обмотки, необходимо его отыскать путем отделения целых частей от поврежденной.

В большинстве случаев пробой по поверхности происходит вследствие ее загрязнения; обычно после тщательной очистки поверхности изоляции пробой больше не повторяется.

Величина испытательного напряжения промышленной частоты (50 *гц*) для электродвигателей до монтажа и при капитальном ремонте (без смены обмоток) принимается согласно приведенным ниже данным:

номинальное напряжение электродвигателей, *в*	до 380;	500;	2000;	3000;	6000;	10 000
испытательное напряжение промышленной частоты, *в*	1000;	1500;	4000;	5000;	10 000;	16 000

Длительность испытания 1 *мин.*

При приемно-сдаточных испытаниях после монтажа электродвигатели с номинальным напряжением от 2 до 10 *кв* после полной сборки испытываются напряжением на 1000 *в* менее указанных выше величин. Электродвигатели до 500 *в* включительно после монтажа испытываются напряжением 1000 *в*. Для электродвигателей напряжением 380 *в* при отсутствии испытательного оборудования допускается испытание изоляции мегомметром на напряжение 1000 *в* в течение 1 *мин.*

В соответствии с ГОСТ 7217—59 измерение напряжения следует производить на стороне высшего напряжения испытательного трансформатора статическим вольтметром или с применением измерительного трансформатора напряжения. Согласно тому же стандарту для электродвигателей на номинальное напряжение 3 *кв* и выше параллельно испытываемому объекту должны быть присоединены шаровые разрядники на напряжение, несколько превышающее испытательное. В цепь первичной или вторичной обмотки испытательного трансформатора последовательно должно быть включено высокоомное сопротивление для ограничения тока короткого замыкания в случае пробоя обмотки. Принципиальная схема испытания электрической проч-

ности изоляции обмотки электрической машины повышенным напряжением переменного тока приведена на рис. 117. К повысительному (испытательному) трансформатору *Тр1* подводится линейное напряжение сети напряжением 220 или 380 *в*. Измерение вторичного напряжения испытательного трансформатора

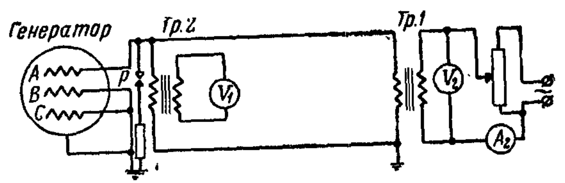
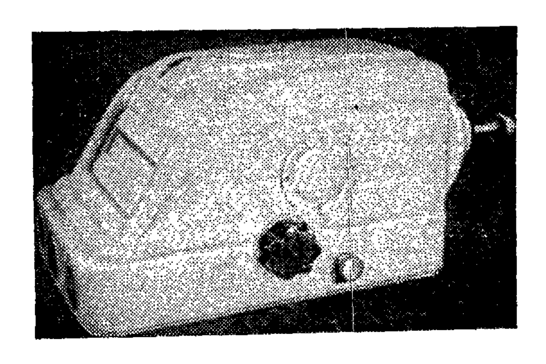


Рис. 117. Принципиальная схема испытании электрической прочности изоляции обмотки статора повышенным иапряжением

Тр1 производится путем регулирования напряжения, подаваемого на первичную обмотку *Тр1*, которое регистрируется вольтметром V_2. Измерение величины испытательного напряжения



Рнс. 118. Киловольтметр С96

производится на стороне высшего напряжения испытательного трансформатора через измерительный трансформатор напряжения *Тр2* и фиксируется оно вольтметром V_1. На стороне высшего напряжения испытательного трансформатора должен быть включен защитный искровой промежуток (разрядник) *P*, настроенный на 10% выше принятой величины испытательного напряжения. При испытательных напряжениях, не превышающих 30 *кв*, изменение величины испытательного напряжения целесообразно производить при помощи киловольтметра электростатической системы типа С96, класса точности 1,5, с пределами измерения 7,5/15/30 *кв* (рис. 118).

Испытание изоляции обмоток статора генераторов производят как повышенным напряжением промышленной частоты (50 *гц*), так и повышенным выпрямленным напряжением с измерением токов утечки. Эти испытания дополняют друг друга. Испытание выпрямленным напряжением позволяет выявить те местные дефекты, которые обычно не обнаруживаются при испытании переменным напряжением. Выпрямленный ток легко поддается измерению с большой точностью, что используется для сравнительной оценки состояния изоляции машины по величине тока утечки. Поэтому испытание изоляции

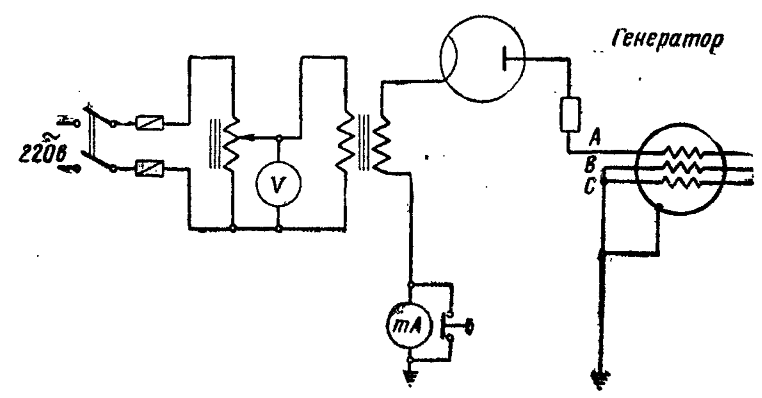


Рис. 119. Схема испытания изоляции обмотки статора генератора повышенным выпрямленным напряжением от кенотронной установки

крупных синхронных машин и генераторов повышенным выпрямленным напряжением является обязательным при приемно-сдаточных испытаниях. Главная изоляция обмотки статора генератора испытывается повышенным выпрямленным напряжением, равным $2{,}2 \div 2{,}5\, U_{ном}$; длительность приложения испытательного напряжения принимается 1 *мин*. Измерение токов утечки производится по схеме рис. 119 миллиамперметром для каждой фазы или ветви в отдельности при других фазах и ветвях, соединенных с землей. Токи утечки не нормируются, однако резкое расхождение величин токов утечки по фазам более чем в 2—3 раза указывает на дефекты в изоляции. После отыскания и устранения дефектов следует повторно измерить токи утечки.

При наладочных работах иногда приходится проводить испытание электрической прочности изоляции обмоток относительно корпуса посредством кенотронов, применяемых для испытания изоляции кабелей.

Испытание главной изоляции обмотки статора повышенным напряжением промышленной частоты (50 *гц*) должно произ-

водиться для каждой фазы относительно корпуса при двух других заземленных фазах (рис. 117).

При наличии в каждой фазе обмотки параллельных ветвей, имеющих выведенные концы, следует испытывать каждую ветвь в отдельности. Если нейтральная точка обмотки статора находится внутри корпуса машины и недоступна для разборки, то изоляция испытывается для всех трех фаз одновременно. Синхронные генераторы рекомендуется испытывать повышенным напряжением до сушки обмотки статора, так как увлажнение обмоток с изоляцией класса «В» практически не влияет на ее электрическую прочность, а помогает надежнее выявить местные дефекты в изоляции, которые иногда при сухой изоляции не выявляются указанными испытаниями. Допускается производить испытания в горячем (40÷70°) или холодном состоянии, если изоляция обмоток статора отвечает изложенным выше условиям.

При приемно-сдаточных испытаниях изоляция обмотки каждой фазы статора относительно корпуса и двух других заземленных фаз испытывается повышенным напряжением переменного тока в течение 1 *мин* согласно табл. 20.

Таблица 20

Испытательные напряжения при приемно-сдаточных испытаниях новых машин

Мощность, *ква*	Номинальное линейное напряжение, *в*	Действующее значение испытательного напряжения, *в*
Менее 1000	Все напряжения	$0,75\ (2\ U_{ном}+1000)$
От 1000 и более	До 3300 включительно	$0,75\ (2\ U_{ном}+1000)$
	Выше 3300 до 6600	$0,75 \cdot 2,5\ U_{ном}$
	От 10 500 и выше	$0,75\ (2\ U_{ном}+3000)$

Для гидрогенераторов рекомендуется производить испытания после стыковки статора и до установки ротора.

По окончании монтажа генератора (после установки ротора) до сборки рекомендуется выполнить повторное испытание его обмоток номинальным напряжением.

При приемно-сдаточных испытаниях для явнополюсных роторов генераторов относительно корпуса применяется испытательное напряжение переменного тока, равное 7,5-кратному номинальному напряжению возбуждения, но не ниже 1200 *в* и не выше 2400 *в* в течение 1 *мин*; для неявнополюсных роторов в случае снятия бандажей испытание производится напряжением 1000 *в*.

При приемно-сдаточных испытаниях машин, бывших в эксплуатации, испытательное напряжение принимается от 1,5 $U_{ном}$

до $1{,}7 U_{ном}$, а выпрямленное напряжение $2{,}2 \div 2{,}5\ U_{ном}$ для всех мощностей. Продолжительность приложения испытательного напряжения 1 *мин.* Указанные испытания производятся до сушки и до ввода ротора в статор (для гидрогенераторов после стыковки статора).

Перед вводом в работу генератора по окончании монтажа или ремонта (после ввода ротора в статор и установки торцовых щитов) производится повторное контрольное испытание величиной $U_{ном}$ (или выпрямленным напряжением величиной $1{,}5\ U_{ном}$). Продолжительность приложения испытательного напряжения 1 *мин.*

Испытания электрической прочности изоляции обмоток возбудителя, сопротивления гашения поля, заземляющего сопротивления, цепей возбуждения генератора и возбудителя со всей присоединенной аппаратурой, доступных изолированных стяжных болтов стали статора и реостата возбуждения производятся при значениях испытательного напряжения, приведенных в табл. 21.

Таблица 21

Значения испытательного напряжения для элементов электрических машин

Объем приемно-сдаточных испытаний	Вид испытания	Норма испытательного напряжения промышленной частоты (*в*) при продолжительности испытания в течение 1 *мин.*
Изоляция сопротивления гашения поля	Относительно корпуса	2000
Изоляция заземляющего сопротивления	То же	$1{,}5\ U_{ном}$, где $U_{ном}$ номинальное напряжение генератора
Изоляция цепей возбуждения генератора и возбудителя со всей присоединенной аппаратурой (без обмоток генератора и возбудителя)	Относительно корпуса	1000—2000
Изоляция обмоток возбудителя и подвозбудителя	Относительно корпуса и бандажей	$0{,}75\ (2U_{ном} + 1000)$, но не менее 1000
Изоляция реостата возбуждения и изоляция пускорегулирующих сопротивлений машин постоянного тока	Относительно корпуса	1000
Изоляция доступных стяжных болтов стали статора	То же	500

Испытания изоляции напряжением промышленной частоты, равным 1000 *в*, могут быть заменены измерением одноминутного значения сопротивления изоляции мегомметром на напряжение 2500 *в*.

В ряде случаев место повреждения изоляции обмотки ротора может быть определено визуально по появлению дуги в отдельных местах обмотки ротора. При наличии устойчивого повреждения изоляции обмотки ротора, с небольшим переходным сопротивлением, место повреждения наиболее быстро определяется при помощи аккумуляторной батареи и магнитоэлектрического милливольтметра по схеме, приведенной на рис. 120. Аккумуляторная батарея напряжением 4÷6 *в* (например, стартерный автомобильный аккумулятор) через реостат замыкается на обмотку ротора, изображенную в виде отдельных полюсных катушек. Милливольтметр магнитоэлектрической системы вклю-

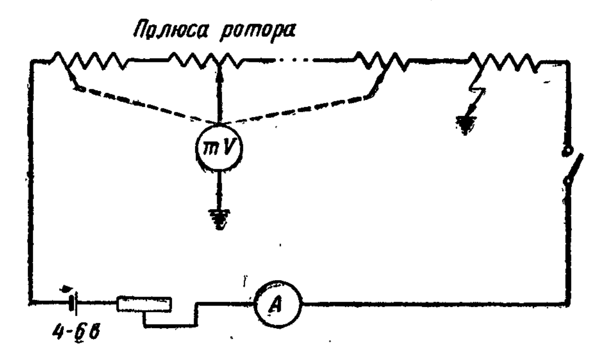


Рис. 120. Схема определения замыкания на землю катушки полюса ротора

чают одним концом на корпус ротора, а другим касаются поочередно всех катушек полюсов ротора. Показания милливольтметра уменьшаются по мере приближения к месту повреждения. Катушка, на которой показания милливольтметра меняют свой знак, является поврежденной. До и после испытания повышенным напряжением производится измерение сопротивления изоляции обмотки ротора мегомметром на напряжение 1000—2500 *в*.

При испытании электрической прочности изоляции обмоток измерения испытательного напряжения следует производить непосредственно на выводах источника этого напряжения, которым в большинстве случаев служит повысительный трансформатор (ГОСТ 7217—59). Обычно при измерениях напряжения учитывают его действующее значение, тогда как пробой изоляции определяется амплитудным значением напряжения. Поэтому целесообразно не только производить измерение испытательного напряжения, но и контролировать форму его кривой.

Такой контроль осуществляется включением, как указывалось выше, на выводах источника напряжения шарового разрядника, установленного таким образом, чтобы его воздушный

промежуток пробивался при некотором повышении напряжения сверх заданного значения (например, на 10%), измеряемого при помощи вольтметра, присоединенного к трансформатору напряжения. Если при испытании не будет происходить пробивания шарового разрядника при достижении испытательного напряжения по вольтметру или даже ранее этого, то отсутствие искажения формы кривой испытательного напряжения можно считать установленным.

Для устранения искажений формы кривой испытательного напряжения не следует питать испытательное устройство фазным напряжением от трехфазной системы с нулевым проводом. Повысительный трансформатор не должен перегружаться по току и магнитному потоку, для чего он должен иметь достаточную номинальную мощность и запас по напряжению. Кроме того, включение активного сопротивления в цепь обмотки низшего напряжения трансформатора тоже исправляет форму кривой испытательного напряжения.

Учитывая, что испытательное напряжение даже самых малых величин представляет опасность для жизни наладчика, должны приниматься самые тщательные меры предохранения персонала от поражения электрическим током и соблюдаться все требования Правил по технике безопасности при работе в электроустановках.

Испытание электрической прочности междувитковой изоляции (секций или катушек обмотки) в основном производится при контрольных промышленных испытаниях в целях выявления в машине секций обмотки с ослабленной витковой изоляцией. При пусконаладочных работах такие испытания производятся только с целью выявления наличия витковых замыканий в обмотках явнополюсных роторов синхронных генераторов и электродвигателей.

Изоляция между витками проверяется путем повышения напряжения на зажимах машины при холостом ходе на 30% выше номинального в течение 5 *мин.* Для асинхронных электродвигателей с фазным ротором это испытание проводится при неподвижном и разомкнутом роторе, а для электродвигателей с короткозамкнутым ротором — на холостом ходу. Для многоскоростных электродвигателей испытания электрической прочности междувитковой изоляции обмотки должны быть проведены для каждой номинальной скорости вращения.

Для повышения напряжения на 30 и 50% допускается увеличение скорости вращения синхронных генераторов на 15% и повышение частоты сети, питающей испытуемый асинхронный двигатель, тоже на 15%. Для машин постоянного тока с числом полюсов больше четырех напряжение при испытании изоляции витков поднимается до величины, при которой напряжение между смежными коллекторными пластинами не превышает 24 *в*

(по не более 1,3$U_{ном}$). Для синхронных машин, у которых при номинальном токе возбуждения напряжение холостого хода превышает номинальное напряжение машины более чем на 30%, испытание производят при напряжении холостого хода, соответствующем номинальному току возбуждения. Для возбудителей с форсировкой возбуждения напряжение возбудителя превосходит номинальное напряжение более чем на 30%, испытание производят при предельном напряжении форсировки в течение 1 *мин*.

Испытание напряжением промышленной частоты витковой изоляции полюсов ротора синхронной машины производится по

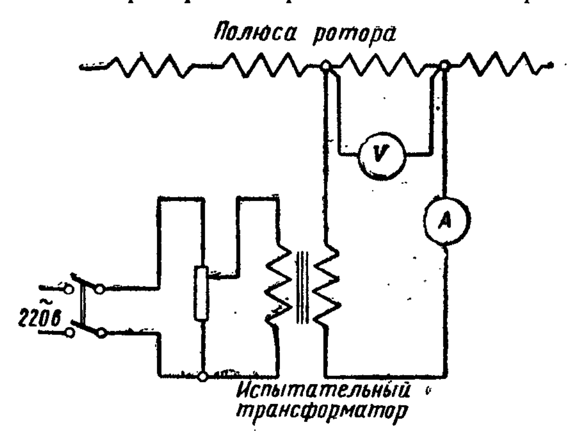


Рис. 121. Схема испытания витковой изоляции полюсов ротора напряжением промышленной частоты

схеме, приведенной на рис. 121, с питанием от сети переменного тока напряжением 220 *в*. При испытании определяются и сравниваются между собой полные сопротивления Z обмотки каждого полюса ротора. Величина Z катушек полюсов не нормируется. Величина испытательного напряжения принимается из расчета 2,5 *в* на виток.

Если испытание катушек полюсов проводится на роторе, введенном в статор, опыт проводится при разомкнутой обмотке статора.

Продолжительность приложения испытательного напряжения 5 *мин*. Испытание электрической прочности междувитковой изоляции обмоток представляет некоторую опасность, особенно в крупных машинах открытого исполнения, например синхронных машинах. Пробой междувитковой изоляции может сопровождаться вспышкой с выбрасыванием капель расплавленного металла, от которых может пострадать обслуживающий персонал. В целях безопасности следует удалять персонал от маши-

ны на время ее испытания. Кроме того, в машинах постоянного тока может возникнуть опасность от появления кругового огня на коллекторе, который, помимо разбрызгивания капель металла, опасен еще своим ослепляющим действием.

§ 10. СНЯТИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

Снятие характеристики холостого хода генератора постоянного тока. Характеристика холостого хода снимается для определения формы кривой намагничивания машины и соответствия ее заводским и расчетным данным. При снятии характеристики определяются необходимые предельные величины сопротивления реостатов в цепях возбуждения, испытывается междувитковая изоляция обмотки якоря.

Чтобы снять характеристики холостого хода, требуется определить зависимость напряжения на зажимах якоря от тока возбуждения при номинальной скорости вращения и отсутствии нагрузки, т. е. $U_0=f\ (i_в)$ при $I_я=0$ и n = пост.

Известно, что э. д. с. генератора (E_0) отличается от напряжения на щитках генератора (U_0) на величину падения напряжения в обмотках якоря — $I_я \cdot R_я$, т. е.

$$E_0 = U_0 + I_я \cdot R_я \text{ или } U_0 = E - I_я \cdot R_я,$$

так как падение напряжения невелико, то практически принимают $U_0 \approx E_0$.

Из указанной зависимости $U_0 = f(i_в)$ следует, что источником тока, проходящего по обмотке возбуждения генератора, не может быть сам испытуемый генератор, так как в этом случае ток $I_я$ уже не будет равен нулю. Поэтому независимо от рода генератора характеристику холостого хода лучше всего снимать при независимом возбуждении по схеме, приведенной на рис. 122, так как в этом случае ток якоря ($I_я$) всегда будет равен нулю. Независимое возбуждение применяется достаточно широко, главным образом в генераторах высокого напряжения, в машинах большой мощности, когда требуется широкая регулировка напряжения и т. д.

Следует отметить, что все приборы, указанные на схеме рис. 122, должны быть магнитоэлектрической системы с классом точности не ниже 0,5.

Характеристики холостого хода снимаются следующим образом. Генератор *Г* приводится приводным электродвигателем во вращение с номинальной скоростью, которая в течение всего опыта контролируется и поддерживается постоянной. Реостат *3* ставится в крайнее положение, обеспечивающее минимальный ток возбуждения; включается рубильник *1*, рубильник *10* должен быть при этом отключен. Затем с помощью реостата *3*

постепенно увеличивается ток возбуждения и поднимается напряжение на зажимах генератора до величины, составляющей 130% номинального напряжения (1,3 $U_{ном}$).

Первый подъем напряжения при положительном токе возбуждения ($+ i_в$) производится без записи показаний приборов. Первой точкой отсчета для характеристики холостого хода может служить отсчет при повышенном напряжении (1,3 $U_{ном}$). Это напряжение, соответствующее положительному току возбуждения ($+i_в$), поддерживается в течение 5 *мин* на высшем пределе, равном 1,3 $U_{ном}$, а затем ступенями снижается до нуля. Такое испытание носит название — «испытание междувитковой изоляции обмотки якоря».

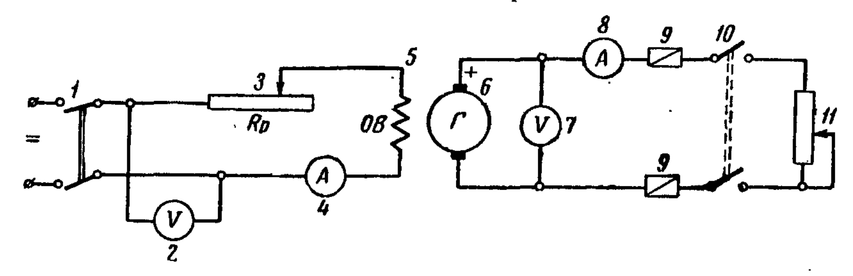


Рис. 122. Схема для снятия характеристики холостого хода генератора постоянного тока при независимом возбуждении:

1 — рубильник двухполюсный для присоединения обмотки возбуждения на заданное напряжение, *2* — вольтметр, контролирующий напряжение на обмотке возбуждения, *3* — регулировочный реостат ($R_р$), *4* — амперметр для контроля величины тока в обмотке возбуждения, *5* — обмотка возбуждения (*ОВ*) испытуемой электрической машины постоянного тока, *6* — испытуемая электрическая машина (*Г*) постоянного тока, *7* — вольтметр, контролирующий напряжение на зажимах электрической машины, *8* — амперметр, указывающий величину тока во внешней цепи, *9* — предохранители, *10* — двухполюсный рубильник, включающий нагрузку, *11* — нагрузочное регулировочное устройство (реостат)

Во время подъема напряжения необходимо внимательно следить за коммутацией щеток. В случае появления искрения необходимо уменьшить, а иногда даже отключить возбуждение. Если в период испытания не было обнаружено колебаний напряжения и тока возбуждения, искрения под щетками и других ненормальных явлений, то следует считать, что междувитковая изоляция обмотки якоря генератора выдержала испытание.

После испытания междувитковой изоляции обмотки якоря необходимо приступить к снятию характеристики холостого хода. В этом случае генераторы, работающие с изменением полярности, испытываются при полном перемагничивании. Для изменения полярности переключаются выводы обмотки возбуждения генератора или возбудителя. Генератор возбуждается до максимального напряжения обратной полярности, равного 1,3 $U_{ном}$, после чего его ток возбуждения от величины $-i_в$ снижается до нуля. Вторично меняется полярность выводов

шунтовой обмотки и производится полное перемагничивание генератора в описанном порядке. При этом по мере подъема и последующего снижения напряжения обычно снимается 8—10 точек заранее заданных значений для каждой ветви, замечается ток возбуждения, размагничивающий остаточный магнетизм до нуля ($-i_в$ и $+i_в$) и остаточное напряжение ($+U_0$ и $-U_0$) генератора.

Во время снятия характеристик ток возбуждения в пределах между крайними значениями следует изменять только в одну сторону без возврата к предыдущим значениям (например, при подъеме тока недопустимо частичное его снижение), в противном случае из-за остаточного магнетизма будут получены не плавные, а ступенчатые характеристики. По результатам измерений строится характеристика намагничивания, приведенная на рис. 123. Расхождение обеих ветвей кривой намагничивания машины объясняется явлением гистерезиса.

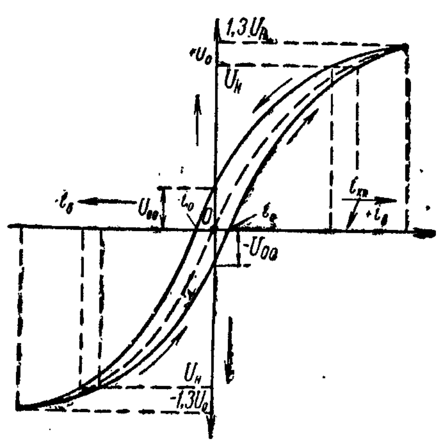


Рис. 123. Характеристика холостого хода генератора с независимым возбуждением

В машинах, имеющих полюсные наконечники и ярмо из литой стали, максимальная разность ординат нисходящей и восходящей ветвей кривой намагничивания составляет обычно порядка 2—3% от ординаты, соответствующей номинальному напряжению; в случае же изготовления ярма из чугуна, эта разность доходит до 5—6% и больше. По степени расхождения обеих ветвей характеристики холостого хода судят о качестве материала, из которого изготовлена магнитная система машины. Кроме того, площадь указанной кривой, как известно, пропорциональна потери энергии на перемагничивание стали машины. За практическую или расчетную кривую принимают среднюю. Таким образом, характеристика холостого хода позволяет судить о насыщении магнитной цепи генератора при номинальном режиме работы. Часто, когда не требуется большой точности, характеристику холостого хода можно снять и при самовозбуждении генератора с параллельным или со смешанным возбуждением, для чего необходимо присоединить обмотку возбуждения к зажимам якоря машины (рис. 124). Характеристика снимается с помощью регулировочного реоста-

та $R_р$. В этом случае ток в якоре равен току в обмотке возбуждения т. е. $I_я = i_в$. Но так как последний составляет всего 2—5% номинального тока в якоре, то его влияние скажется незначительно. Подбор приборов и сам опыт холостого хода производятся в том же порядке, что и при независимом возбуждении, с той лишь разницей, что при данных условиях питания обмотки возбуждения, характеристику холостого хода можно снять только в одном направлении тока возбуждения для нисходящей и восходящей ветви (рис. 125). Кроме того, для генераторов с параллельным возбуждением снятие характеристики холостого хода при самовозбуждении позволяет определить, во-первых, величину критического сопротивле-

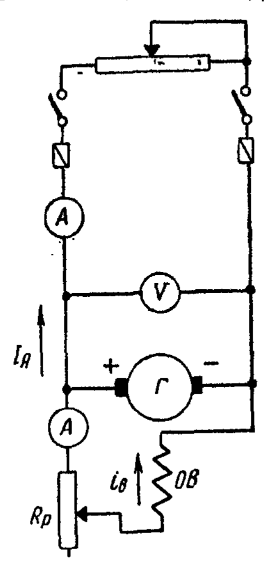


Рис. 124. Схема для снятия характеристики холостого хода генератора с параллельным или смешанным возбуждением

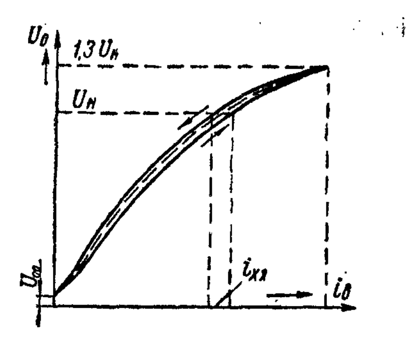


Рис. 125. Характеристика холостого хода генератора с параллельным возбуждением

ния цепи возбуждения, ниже которого самовозбуждение возможно, а выше которого оно не наступает, и, во-вторых, предел напряжения при самовозбуждении или «потолок самовозбуждения», т. е. то напряжение, до которого возбуждается машина при полностью выведенном регуляторе возбуждения.

При испытании генераторов и возбудителей, предназначенных для работы без изменения полярности, достаточно ограничиться снятием характеристики одностороннего намагничивания (рис. 125). Если при снятии характеристик машины на холостом ходу обнаружится повышенное потребление мощности, то это указывает на наличие междувиткового замыкания

в якоре, повышенных потерь на трение, повреждения сердечника якоря.

Определение потерь холостого хода. При работе любой машины, в частности машины постоянного тока, возникают потери, приводящие к нагреву соответствующей части машины. Потери влияют, во-первых, на величину коэффициента полезного действия (к. п. д.) машины, а, во-вторых, на температуру той части машины, где они возникают. Но на величину к. п. д. оказывает влияние прежде всего сумма потерь, причем то или иное распределение потерь видоизменяет форму кривой к. п. д. в зависимости от нагрузки; температура же данной части машины определяется прежде всего теми потерями, которые имеют место именно в этой части машины. Поэтому при всяком испытании производится деление потерь на отдельные составные части. Например, потери холостого хода можно разделить на механические и потери в стали; в свою очередь из механических потерь можно выделить потери на трение щеток о коллектор, трение в подшипниках, трение якоря о воздух, потери в вентиляторе и т. д., а потери в стали можно разделить на потери от гистерезиса и от вихревых токов, зависящих как от напряжения, так и от скорости вращения.

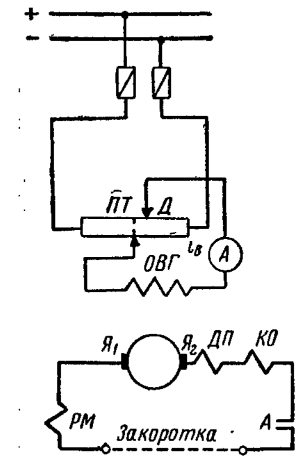


Рис. 126. Схема для снятия характеристики короткого замыкания генератора постоянного тока

Если приводным двигателем испытываемой машины в режиме генератора будет электродвигатель, то одновременно со снятием характеристики холостого хода генератора необходимо с каждым отсчетом снимать и отсчеты в цепи приводного двигателя по всем приборам для определения потребляемой им мощности и потерь в нем. Зная заранее потери холостого хода приводного двигателя и после их выделения из общей потребляемой мощности, переданной двигателем приводимому генератору, можно найти остаток мощности, который даст нам искомые потери холостого хода генератора.

Снятие характеристики короткого замыкания генератора постоянного тока. Характеристикой короткого замыкания генератора называется зависимость тока короткого замыкания от тока возбуждения при постоянной скорости вращения генератора. Так как при коротком замыкании оба зажима генератора соединяются между собой (рис. 126) проводниками надлежащего сечения, то разность потенциалов на зажимах генератора примерно равна нулю. Таким образом,

характеристика короткого замыкания генератора представляет собой зависимость:

$$I_к = f(i_в) \text{ при } U = 0 \text{ и } n = \text{пост.}$$

Из основного соотношения между э. д. с. генератора, а именно: $U_0 = E_0 - I_я \cdot R_я$, следует, что $E_0 = I_к \cdot R_я$, т. е. э. д. с., индуктируемая в якоре генератора при коротком замыкании, целиком тратится на преодоление падения напряжения в якоре. Обычно характеристики $I_к = f(i_в)$, дающие зависимость тока якоря от тока возбуждения генератора при закороченной цепи якоря, снимаются в случаях наладки генераторов, работающих параллельно или в электроприводе, собранном по схеме генератор — двигатель (Г — Д). Снятие характеристики короткого замыкания производится для контроля главных цепей, проверки отсутствия самовозбуждения (может иметь место в схемах с гашением поля) и определения действия реакции якоря при разных значениях тока (что важно для настройки равномерного распределения нагрузки у параллельно работающих генераторов). Во время этих испытаний производится также настройка автоматов, максимальной защиты и других аппаратов.

Для снятия характеристики проводятся следующие подготовительные операции. Генератор приводится во вращение без возбуждения, измеряется напряжение на якоре, создаваемое действием остаточного магнетизма. Обмотка возбуждения генератора *ОВГ* включается через потенциометр *ПТ* (рис. 126), вводится в действие максимальная защита (установка автомата не должна превосходить ¼—½ номинального тока машины). Данная предосторожность необходима в связи с тем, что при испытании в случае неправильно установленных щеток или асимметрии магнитных потоков может произойти самовозбуждение генератора и самопроизвольное нарастание тока до чрезмерной величины.

Необходимо также обратить внимание, что в этом режиме машины ток короткого замыкания может достигать огромных значений и при неправильном соединении обмоток может привести к повреждениям машины. Поэтому перед испытанием машины в режиме короткого замыкания необходимо тщательно проверить правильность соединения ее выводных концов.

При снятии характеристик генератора со смешанным возбуждением во избежание самовозбуждения рекомендуется включать последовательную обмотку таким образом, чтобы в процессе испытания создаваемый ею поток всегда действовал в сторону размагничивания основного потока параллельной обмотки.

Испытание генератора в режиме короткого замыкания и производство измерений рекомендуется выполнять в следующем порядке. Подают напряжение на потенциометр *ПТ* (рис. 126)

и смещая его движок *Д* от средней точки, плавно возбуждают генератор до тех пор, пока ток в цепи якоря не достигнет номинальной величины. При номинальном токе якоря через 3—5 *мин* повторно повышают возбуждение, при этом проверяется не происходит ли самопроизвольное возрастание тока. Установив отсутствие самовозбуждения, производят с помощью потенциометра дальнейшее увеличение тока якоря до 150% номинального, а затем возвращают движок *Д* к средней точке (т. е. уменьшают ток возбуждения до нуля). При испытании необходимо следить за коммутацией щеток генератора.

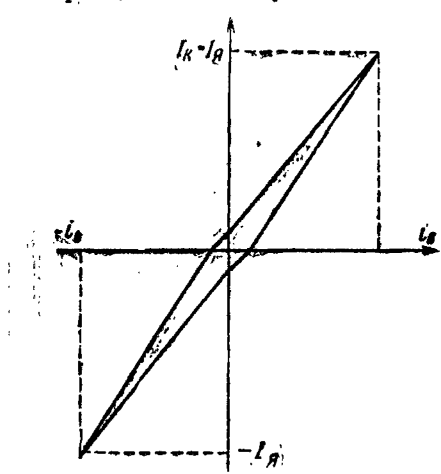


Рис. 127. Характеристика короткого замыкания генератора постоянного тока

Подъем и снижение тока якоря в пределах от $I_{ном}$ до 1,5 $I_{ном}$ **должен производиться достаточно быстро во избежание** недопустимых перегревов токоведущих частей. При перемещении движка *Д* от его среднего положения генератор перемагничивается и при обратной его полярности повторяются испытания. Убедившись в устойчивой работе генератора при обоих значениях полярности, следует повторить его полное перемагничивание в пределах $\pm 1{,}5 I_{ном}$, записывая в трех-четырех точках каждой полуветви значения токов якоря и возбуждения. В этом случае большого количества точек снимать нет особой необходимости, потому что ток короткого замыкания имеет прямую зависимость от тока возбуждения.

Построенная по данным измерений характеристика короткого замыкания приведена на рис. 127.

Снятие регулировочной характеристики электродвигателя параллельного возбуждения. Общеизвестно, что наиболее экономичным и широко применяемым способом регулирования скорости вращения является изменение тока возбуждения.

В электродвигателях с параллельным возбуждением, как известно, существует равновесие напряжений в цепи якоря:

$$U_с = E_я + I_я \cdot R_я = C \cdot n \cdot \Phi + I_я R_я,$$

откуда

$$n = \frac{U_с - I_я R_я}{C\Phi} = \frac{E_я}{C\Phi},$$

где $U_с$ — напряжение сети, постоянная величина;
$R_я$ — суммарное сопротивление якорной цепи;
Φ — полный магнитный поток;
$I_я$ — ток якоря;
n — скорость вращения якоря;
$C=\frac{pN}{60 \cdot a} \cdot 10^{-8}$ — коэффициент пропорциональности, учитывающий постоянные величины для данного электродвигателя: число пар полюсов (p), число проводников обмотки якоря (N), число параллельных ветвей обмотки якоря (a).

Приведенная формула показывает, что для условия равновесия э. д. с. необходимо, чтобы якорь электродвигателя, нагруженный током $I_я$, вращался в поле Φ с такой скоростью, чтобы индуктированная в нем при этом обратная э. д. с. $E_я$ вместе с падением напряжения $I_я R_я$ была в состоянии полностью уравновесить приложенное к электродвигателю напряжение сети.

Формула также дает возможность определить скоростные характеристики электродвигателей различного типа, т. е. установить зависимость скорости вращения от тока нагрузки. Так как в этой формуле напряжение $U_с$ постоянное, а падение напряжения $I_я \cdot R_я$ составляет по сравнению с $U_с$ ничтожную величину, то скорость вращения электродвигателя в основном определяется изменением магнитного потока Φ. Например, если в электродвигателе с параллельным возбуждением магнитный поток практически остается постоянным, то скорость вращения его очень мало изменяется с нагрузкой. Таким образом, вводя сопротивление в цепь возбуждения электродвигателя и этим уменьшая ток возбуждения $i_в$, мы вызываем уменьшение магнитного потока Φ. В первый момент благодаря инерции вращающихся частей машины скорость электродвигателя не изменяется.

Из предыдущего уравнения $U_с=E_я+I_я \cdot R_я=C \cdot n \cdot \Phi+I_я \cdot R_я$ следует, что всякое уменьшение потока Φ вызовет соответствующее увеличение величины тока якоря $I_я=\frac{U_с-Cn\Phi}{R_я}$. Но так как величина э. д. с. якоря ($E_я$) гораздо больше падения напряжения $I_я R_я$, то всякому, даже небольшому уменьшению магнитного потока Φ соответствует резкое увеличение тока якоря $I_я$ (при условии, если в первый момент скорость вращения не изменится). Из сказанного можно сделать следующие выводы. Напряжение на зажимах электродвигателя не изменяется, ток возбуждения $i_в$ и поток Φ при введении реостата r уменьшаются (в насыщенной машине поток уменьшается в меньшей степени, чем ток $i_в$). Ток в якоре $I_я$ увеличивается обратно пропорционально потоку Φ. Скорость вращения (*об/мин*) тоже изменяется почти обратно пропорционально потоку Φ; в действительности

оно возрастает несколько меньше, так как падение напряжения в якоре $I_я R_я$ увеличивается.

Подведенная мощность $P_1 = U(I_я + i_в)$ увеличивается почти пропорционально току $I_я$ или скорости вращения (*об/мин*). Полезная мощность $P_2 = 1{,}028\ M \cdot n$ — тоже увеличивается пропорционально скорости вращения n. К. п. д. электродвигателя остается практически неизменным.

Таким образом, данный способ дает возможность плавно изменять скорость электродвигателя в весьма широких пределах, не понижая к. п. д. машины, и является лучшим способом регулирования скорости вращения машин постоянного тока.

Регулировочная характеристика электродвигателя представляет собой зависимость скорости его вращения от тока возбуждения при постоянном моменте на валу машины и постоянном напряжении, т. е. $n = f(i_в)$ при M = пост. и U = пост. При снятии характеристики электродвигатель испытывается во всем диапазоне регулирования скорости; особое внимание уделяется проверке устойчивости работы в зоне минимального возбуждения.

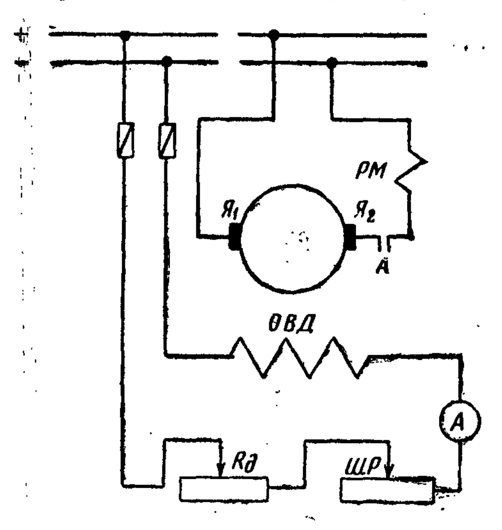


Рис. 128. Схема включения двигателя при снятии регулировочной характеристики

Регулировочные характеристики снимаются при номинальном напряжении на якоре и отсутствии (или малой величине) момента сопротивления на валу электродвигателя. На время испытаний электродвигатель включается по нормальной рабочей схеме, но для расширения диапазона регулирования в цепь обмотки возбуждения к шунтовому реостату *ШР* может быть дополнительно включен реостат $R_д$ (рис. 128). При снятии характеристики скорость электродвигателя путем постепенного введения реостата медленно увеличивается от основной, соответствующей полному возбуждению, до 110%. При приближении к максимальной скорости необходимо внимательно следить за коммутацией щеток. Если возникает искрение щеток или «качание» якоря, необходимо немедленно прекратить испытание, выяснить причины и устранить неисправности.

При снятии регулировочной характеристики на холостом хо-

ду имеется возможность проверить, насколько устойчивой будет работа электродвигателя на высшей скорости под нагрузкой. Для этой цели приближение к верхнему пределу скорости следует повторить несколько раз, постепенно увеличивая быстроту введения шунтового реостата. При резком увеличении скорости ток якоря электродвигателя достигает значительной величины, и если возрастающая реакция якоря не вызывает снижения основного магнитного потока, приводящего к дополнительному повышению скорости, то можно ожидать, что машина будет устойчиво работать также и под нагрузкой.

Установив надежность работы электродвигателя во всем диапазоне изменения скорости, можно приступить к снятию характеристик. Ток возбуждения кратковременно повышается до 1,2 номинального, и при этом значении снимается первая точка регулировочной характеристики; затем ступенями снижается возбуждение и снимается шесть — восемь точек в пределах 110% максимальной рабочей скорости. Для реверсивных электродвигателей регулировочные характеристики снимаются при обоих направлениях вращения якоря. Одновременно с записью значения оборотов и токов возбуждения следует регистрировать напряжение и ток якоря электродвигателя; по данным измерений строятся характеристики (рис. 129). Если напряжение питающей сети U_c отличалось от номинального напряжения электродвигателя $U_{ном}$, производится пересчет полученных измерений скорости n'. С достаточной точностью можно принять, что скорость прямо пропорциональна напряжению на якоре, и поэтому ее значение n, приведенное к $U_{ном}$, находится из простого соотношения:

Рис. 129. Регулировочная характеристика двигателя с параллельным возбуждением

$$n = n' \frac{U_{ном}}{U_c}.$$

В ряде случаев, когда требуется получить регулировочную характеристику в расширенном диапазоне, если это представляет опасность для электродвигателя или механизма, характеристика снимается при пониженном до 40—30% напряжении якоря, а затем приводится к его номинальному значению.

Снятие внешней характеристики генератора. Внешняя характеристика представляет собой зависимость напряжения U на зажимах машины от тока нагрузки I при постоянной скорости вращения n и неизменном токе возбуждения. Для этих целей собирается та же схема, что для снятия характеристики холостого хода (рис. 122). Так как якорь и нагрузочная цепь соединены последовательно, то ток нагрузки равен току якоря, т. е. $I = I_я$. Снятие внешней характеристики имеет целью определить изменение напряжения ΔU, происходящее в генераторе при нагрузке, т. е. изменение величины напряжения при переходе от одного режима к другому, причем это изменение приводится к температуре 75° и характеризуется относительным повышением напряжения, выраженным в % номинального напряжения. Таким образом:

$$\Delta U\% = \frac{U_0 - U_{ном}}{U_{ном}} 100,$$

где U_0 — напряжение холостого хода машины при снятой нагрузке и при постоянных величинах скорости вращения и возбуждении;

$U_{ном}$ — номинальное напряжение генератора.

При снятии внешней характеристики (рис. 122) испытываемую машину возбуждают до номинального напряжения при номинальной скорости вращения, нагрузочное устройство *11* полностью вводят с таким расчетом, чтобы после включения рубильника *10* получить минимальный ток нагрузки. По вольтметру *7* записывают напряжение, которое должно быть равно номинальному при отсутствии тока во внешней сети; это будет первая точка характеристики. Затем включают рубильник *10* и опять записывают показание вольтметра и амперметра. Увеличивая при помощи нагрузочного устройства *11* ток во внешней цепи, записывают показания вольтметра и амперметра для четырех-пяти точек (0, 25, 50, 75 и 100% $I_{ном}$). По этим данным строится внешняя характеристика. При снятии внешней характеристики рекомендуется нагрузку по току принимать равной 1,5 $I_{ном}$, если величина нагрузки не установлена для испытуемой машины специальными условиями. В период испытания следует внимательно следить за состоянием коллектора и щеток и в случае появления ненормального искрения испытание прекращать. Снятие внешней характеристики следует выполнять быстро, особенно на последнем этапе, так как нагрузка по току, равная 1,5 $I_{ном}$, допускается не более 15 *сек*. Если при указанной нагрузке отсутствовало ненормальиое искрение и на коллекторе не осталось следов почернения и нагара, то это значит, что машина одновременно прошла также проверку коммутации при перегрузке по току.

На рис. 130 показаны внешние характеристики для машин с независимым возбуждением (*2*), с самовозбуждением (*1*) и со смешанным возбуждением (*3*). Внешние характеристики машины с самовозбуждением показывают, что перегрузка по току не опасна, так как с возрастанием тока напряжение на зажимах падает, а следовательно, падает и ток возбуждения, что в итоге приводит к ограничению тока до величины $I_к$, обычно меньшей $I_{ном}$ (см. кривую *1*). У машин с независимым возбуждением положение несколько иное, так как с ростом нагрузки ток увеличивается в значительных пределах (см. кривую *2*); у машин со смешанным возбуждением увеличение нагрузки может привести даже к увеличению напряжения, если последовательная обмотка включена согласно с параллельной обмоткой и, таким образом, к увеличению тока до опасных пределов для машины (см. кривую *3*).

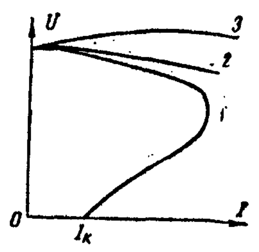


Рис. 130. Внешние характеристики машин:
1 — с самовозбуждением, *2* — с независимым возбуждением, *3* — со смешанным возбуждением

§ 11. СНЯТИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СИНХРОННЫХ МАШИН

Снятие характеристики холостого хода синхронного генератора производится с целью проверки соответствия электрических параметров машин гарантиям завода-изготовителя и выявления ненормальностей в машине.

Характеристика холостого хода синхронного генератора представляет собой зависимость напряжения на зажимах обмотки статора при холостом ходе генератора от величины тока возбуждения ротора при номинальной и постоянной скорости вращения, т. е. $E_0 \cong U_{ст} = f\ (I_р)$ при $n = n_{ном}$ и $I_{ст} = 0$.

При снятии характеристики холостого хода проводится проверка симметрии линейных и фазных напряжений (если доступна нулевая точка, нейтраль генератора) при постоянных скорости вращения и токе возбуждения. Такая проверка необходима для определения правильности соединения обмотки статора. Установленное различие измеренных величин не должно превосходить суммы погрешностей приборов, применяемых при проверке, т. е. примерно 1% их средних значений. В случае, если нулевая точка генератора недоступна, то измеряется только линейное напряжение между фазами. При соединении фаз обмотки статора генератора в треугольник рекомендуется при снятии характеристики холостого хода измерять также ток, протекающий внутри замкнутого треугольника. Кроме того, при снятии характеристики холостого хода испытывается витковая изоляция обмотки статора. Для измерения напряжения генератора и

тока возбуждения возбудителя применяются электроизмерительные приборы класса точности не ниже 0,5. Такая характеристика обычно снимается при приемно-сдаточных испытаниях вновь вводимых синхронных генераторов.

Для измерения напряжения рекомендуется применять переносные многопредельные вольтметры электродинамической системы типа Д-523 (рис. 131), а для измерения тока в цепи возбуждения возбудителя — магнитоэлектрические переносные миллиамперметры М-252 или М-105 (рис. 90) с шунтом, класса точности не ниже 0,5. Такой примерный набор электроизмерительных приборов приводился выше (см. § 5 настоящей главы). Скорость вращения ротора генератора контролируется лабораторным ручным тахометром (рис. 9).

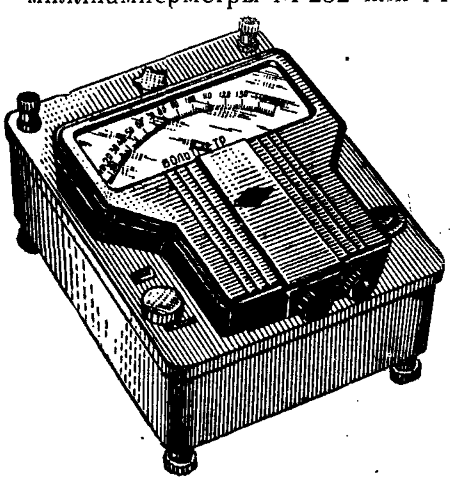


Рис. 131. Внешний вид вольтметра Д-523 (лабораторный многопредельный)

В условиях эксплуатации вольтметры при испытании генератора обычно присоединяются к измерительным трансформаторам напряжения, установленным в распределительном устройстве электростанции.

Принципиальная схема для снятия характеристики холостого хода турбогенератора приведена на рис. 132 и гидрогенератора — на рис. 133; снятие характеристики холостого хода производится в следующей последовательности. Непосредственно перед опытом должны быть тщательно просмотрены цепи первичной коммутации от выводов генератора до его выключателя; проверена исправность работы привода автомата гашения поля; введена в действие релейная защита генератора с воздействием на автомат гашения поля; отключены шинные разъединители и генераторный выключатель; измерено сопротивление изоляции цепи первичной коммутации вместе с обмотками статора, а также ротора и цепей возбуждения; установлены предохранители первичной и вторичной сторон трансформаторов напряжения генератора, которые используются для целей измерения напряжения и защиты генератора; проверено, что шунтовые реостаты возбудителя и подвозбудителя полностью введены; снят оперативный ток с цепей устройства форсировки возбуждения и развозбуждения; отключены устройства автоматического регулирования возбуждения генератора.

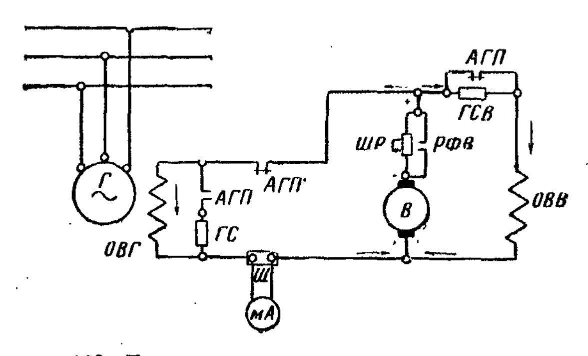


Рис. 132. Принципиальная схема для сиятия характеристики холостого хода турбогенератора:

Г — генератор, *АГП* — автомат гашения поля, *ГС* — гасительное сопротивление ротора, *ГСВ* — гасительное сопротивление возбуждения, *ШР* — шунтовой реостат, *РФВ* — реле форсировки возбуждения, *ОВГ* — обмотки возбуждения генератора, *ОВВ* — обмотка возбуждения возбудителя, *В* — возбудитель, *Ш* — шунт

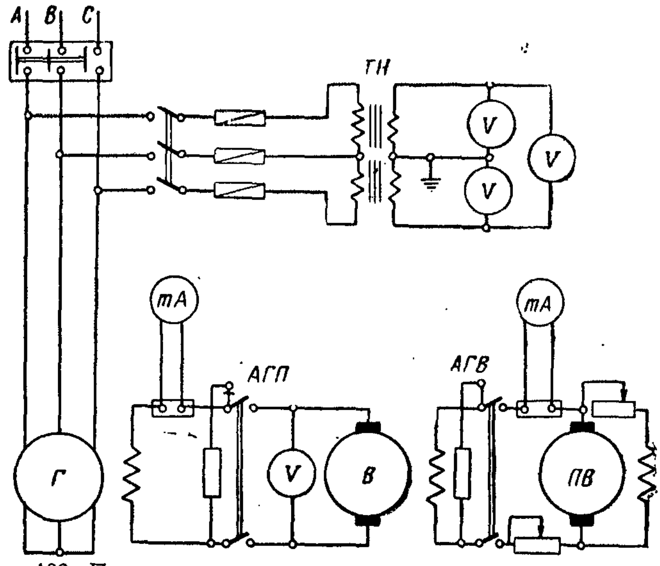


Рис. 133. Принципиальная схема для сиятия характеристики холостого хода гидрогенератора:

ТН — трансформатор напряжения, *АГП* — автомат гашения поля, *АГВ* — автомат гашения поля возбудителя, *ПВ* — подвозбудитель, *В* — возбудитель, *Г* — генератор, *V* — вольтметр, *mA* — миллиамперметр

Генератор приводится во вращение с синхронной скоростью, соответствующей номинальной частоте генератора 50 *гц*. При помощи реостата плавно увеличивают ток возбуждения выше номинального, поднимая напряжение генератора до величины $1{,}3U_{ном}$. Такое повышенное напряжение выдерживается согласно ГОСТ 183—55 в течение 5 *мин.*

Испытание междувитковой изоляции гидрогенераторов производится повышением напряжения до величины $1{,}5\ U_{ном}$ в течение 5 *мин*. Это производится потому, что при сбросе нагрузки у гидравлических турбин происходит большее повышение скорости вращения, чем у паровых турбин.

Отклонение характеристики холостого хода от заводской и от характеристик, снятых при предыдущих испытаниях, не нормируется. Практически это отклонение должно лежать в пределах точности измерений.

По установившимся показаниям трех вольтметров, включенных в обмотку статора через трансформатор напряжения (включенного открытым треугольником), определяют величину напряжения на зажимах агрегата и по показаниям миллиамперметров или милливольтметров, включенных через шунты, определяют токи в цепи возбудителя турбогенератора или в цепях возбудителя и подвозбудителя гидрогенератора (рис. 132, 133). После этого напряжение генератора плавно снижают примерно до нуля. При снижении напряжения генератора производится запись показаний всех измерительных приборов (включая и скорости вращения по тахометру) примерно при следующих значениях напряжения, выраженных в процентах номинального: 130, 125, 120, 110, 100, 85, 70, 50, 30. Все отсчеты производятся по команде, т. е. одновременно несколькими лицами.

При подъеме или снижении напряжения регулировку реостатом необходимо производить только в одном направлении. После того как все точки характеристики холостого хода сняты, следует разомкнуть цепь возбуждения и произвести измерение напряжения от остаточного намагничивания. Обычно в крупных машинах это напряжение не превосходит 2—3% номинального. Соответственно для этого напряжения подбирается вольтметр, который присоединяется к выводам с помощью проводников с игольчатыми щупами.

По полученным опытным данным, как и для машин постоянного тока, строятся две ветви характеристики холостого хода: одна, соответствующая подъему напряжения, а другая — снижению.

За расчетную характеристику обычно принимается средняя кривая, проведенная между двумя опытными кривыми. Для простоты изображения на рис. 134 (кривая *1*) приведена только типичная характеристика холостого хода, т. е. графически изображена зависимость напряжения на зажимах статора ге-

нератора от тока ротора $U_{ст} = f(I_р)$. Прямолинейная часть характеристики указывает на пропорциональность между напряжением на зажимах статора генератора и током ротора (током возбуждения). Далее, анализируя кривую, видим, что при насыщении магнитной системы генератора кривая начинает изгибаться; при значительном увеличении тока возбуждения напряжение растет медленно.

Синхронные машины в нормальных условиях обычно работают при максимальном насыщении машины, т. е. при максимальном возбуждении генератора.

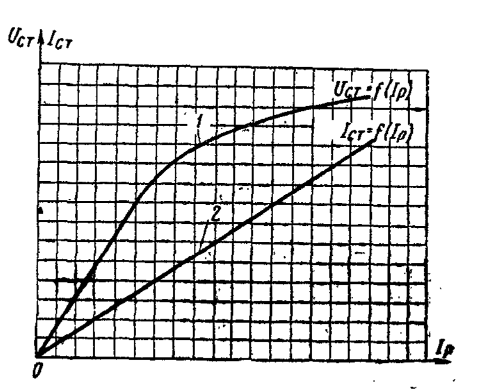


Рис. 134. Типичные характеристики генератора:

1 — характеристика холостого хода, *2* — характеристика трехфазного короткого замыкания

Из предыдущего известно, что если скорость вращения ротора при опыте холостого хода не была номинальной, то для построения характеристики должна быть определена величина напряжения, соответствующая номинальной скорости вращения генератора. Учитывая, что напряжение генератора прямо пропорционально скорости его вращения, пересчет производится по формуле

$$U = U_{изм} \frac{n_{ном}}{n_{изм}},$$

где $n_{изм}$ — скорость вращения (*об/мин*), при котором произведен отсчет напряжения.

Отклонение снятой характеристики холостого хода от заводской не нормируется, практически это отклонение не должно выходить из пределов точности измерений. Кроме того, при испытании следует определить с помощью указателя порядок чередования фаз и симметрию напряжения по фазам.

Для машин с номинальным напряжением не выше 600 *в* это испытание производится в процессе снятия характеристики холостого хода. Указатель присоединяется к выводам посредством проводников с игольчатыми щупами (рис. 56, *а*, *б*). Для машин высокого напряжения указатель может быть включен через трансформаторы напряжения; при этом следует тщательно проследить одноименность выводов с первичной и вторичной сторон трансформаторов. Чередование фаз может быть проверено и непосредственным присоединением указателя к выводам после снятия возбуждения, так как напряжение от оста-

точного намагничивания в машинах высокого напряжения вполне достаточно для приведения фазоуказателя в действие. Если будет установлено, что вновь снятая характеристика холостого хода отклоняется от предыдущих данных испытаний, то это свидетельствует о ненормальностях в генераторе. Так, кривая характеристики холостого хода генератора при витковом замыкании в роторе будет расположена ниже характеристики холостого хода при нормальном состоянии ротора генератора.

Снятие характеристики трехфазного короткого замыкания синхронного генератора. Характеристика трехфазного короткого замыкания представляет собой зависимость тока обмотки статора от величины тока возбуждения (или тока ротора) при замыкании накоротко всех трех фаз обмотки статора: $I_{ст} = f\,(I_р)$ или $I_{ст} = f\,(I_в)$. При снятии характеристики измеряются токи в каждой фазе обмотки статора и ток возбуждения. Для измерения токов в обмотке статора могут быть использованы измерительные трансформаторы тока, установленные в цепи генератора для постоянной эксплуатации. Для измерения тока в цепи статора применяются амперметры класса точности не ниже 0,5, электромагнитной и электродинамической системы, например Э59, ЭЛА, Д526. Для измерения тока возбуждения применяются магнитоэлектрические миллиамперметры или милливольтметры с шунтом класса точности не ниже 0,5.

Для снятия характеристики устанавливается трехфазная закоротка; при отсутствии трансформаторов тока в нуле генератора закоротка устанавливается за трансформаторами тока выводов, но до генераторного масляного выключателя для предотвращения возможности размыкания цепи статора во время испытаний.

При установке закоротки должно быть обращено внимание на надежность контактов. Сечение закоротки должно быть рассчитано на длительное прохождение номинального тока генератора.

В каждой фазе обмотки статора должен быть включен амперметр для контроля тока. На рис. 135 в качестве примера приведена принципиальная схема испытания гидрогенератора в режиме короткого замыкания.

Характеристика снимается при строго постоянных оборотах генератора, равных номинальному значению. Подъем тока в статоре от нуля до номинальной величины осуществляется плавно, скорость подъема тока определяется временем, необходимым для правильного отсчета по приборам. При этом снимается 5÷7 точек характеристики.

По полученным опытным данным строится характеристика трехфазного короткого замыкания (рис. 134, кривая *2*). Отклонение характеристики короткого замыкания от данных преды-

...ующих испытаний или от данных завода-изготовителя не должны выходить за пределы точности измерений; в противном случае оно свидетельствует о ненормальностях в генераторе (замыкание части витков в обмотке ротора). В случаях, когда машина до начала опыта не имеет остаточного намагничивания, характеристика короткого замыкания проходит через начало координат; при наличии остаточного намагничивания характеристика несколько отклоняется от него.

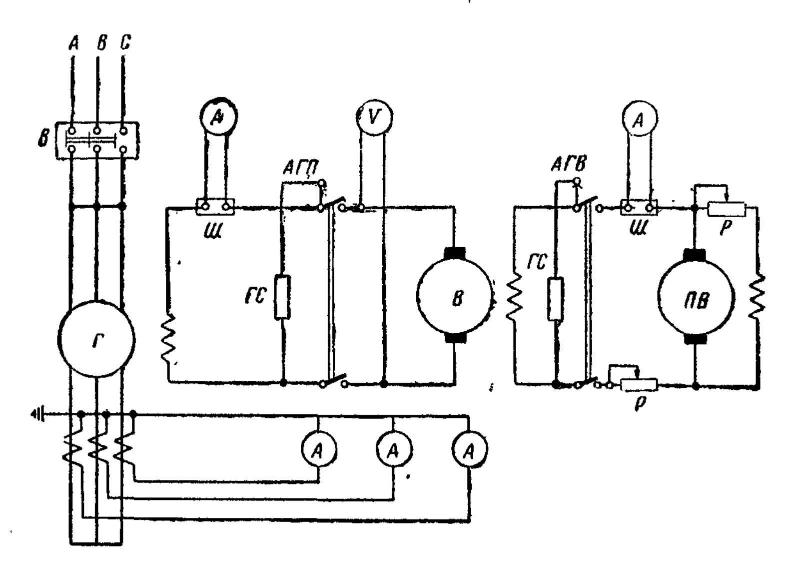


Рис. 135. Схема для снятия характеристики трехфазного короткого замыкания гидрогенератора:

В — выключатель, *АГП* — автомат гашения поля, *АГВ* — автомат гашения поля возбудителя, *ГС* — гасительное сопротивление, *Г* — генератор, *В* — возбудитель, *ПВ* — подвозбудитель, *А* — амперметр, *V* — вольтметр, *Ш* — шунты, *р* — регулировочные реостаты

Характеристика трехфазного короткого замыкания представляет собой прямую линию, поэтому для ее построения достаточно иметь три-четыре опытные точки для разных значений тока статора. Только при очень большом возбуждении кривая характеристики начинает несколько искривляться в сторону оси абсцисс.

Величина тока статора при трехфазном коротком замыкании практически не зависит от скорости вращения генератора, поэтому строго поддерживать постоянную скорость вращения генератора во время опыта или производить какие-либо пересчеты измеренных значений не требуется.

С н я т и е р е г у л и р о в о ч н ы х х а р а к т е р и с т и к в о з б у д и т е л я и с и н х р о н н о г о г е н е р а т о р а. Регулиро-

вочная характеристика возбудителя представляет собой зависимость тока возбуждения от тока нагрузки (тока ротора) при постоянных скорости вращения и напряжения (рис. 136, *а*):

$$I_в = f(I_р) \text{ при } U = U_{ном},\ n = n_{ном}.$$

Регулировочная характеристика снимается одновременно с характеристикой холостого хода генератора.

Регулировочная характеристика синхронного генератора представляет собой зависимость тока возбуждения от тока нагрузки генератора $I_в = f(I)$ при постоянных величинах напряжения, частоты и $\cos\varphi$. Характеристика показывает степень изменения тока возбуждения для поддержания при заданной нагрузке номинальной величины напряжения.

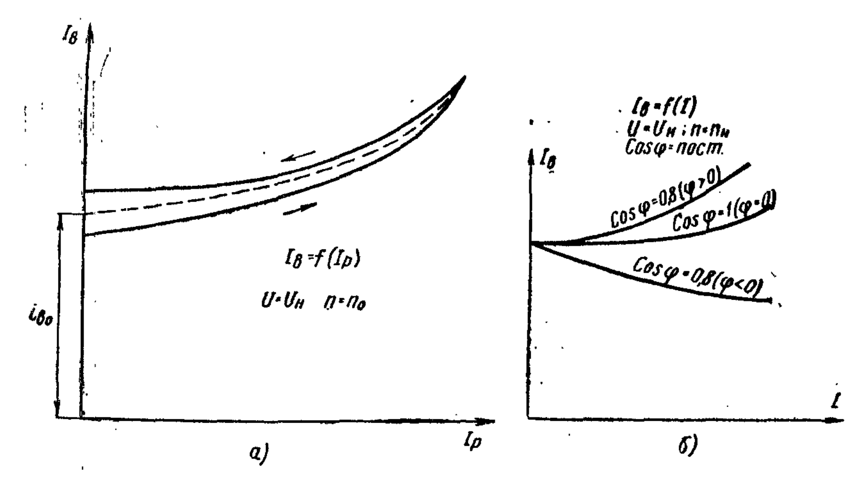


Рис. 136. Регулировочные характеристики синхронного генератора: *а* — возбудителя, *б* — генератора

Из сказанного и из рис. 136, *б* видно, что регулировочные характеристики зависят от рода нагрузки ($\cos\varphi$).

Измерение остаточного напряжения генератора и порядка чередования фаз при отключенном АГП. Перед измерением остаточного напряжения должно быть проверено, что сопротивления шунтовых реостатов возбудителя и подвозбудителя введены полностью и автоматы гашения поля отключены. Измерение остаточного напряжения производится при номинальных оборотах генератора.

Предварительно остаточное напряжение генератора определяется через установленные на генераторе измерительные трансформаторы напряжения. Если измерения покажут, что ожидаемая величина остаточного напряжения не превосходит 250 *в* относительно земли, измерения должны быть произведены непо-

средственно на первичной стороне генератора, без трансформаторов напряжения. Особое внимание в этом случае должно быть обращено на соблюдение правил техники безопасности.

Присоединение вольтметра к выводам генератора для измерения остаточного напряжения целесообразно производить не непосредственно, а через разъединяющий аппарат (например, разъединитель трансформатора напряжения, предохранители ПКТ).

При доступности нулевой точки обмотки статора измеряют все фазные и междуфазные напряжения статора.

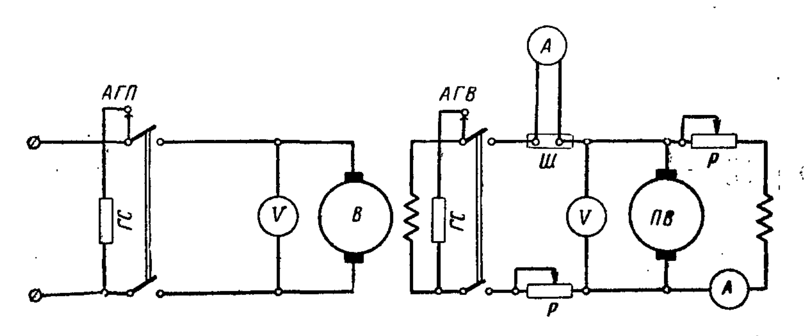


Рис. 137. Схема снятия характеристики холостого хода возбудителя и подвозбудителя гидрогенератора:
В — возбудитель, *ПВ* — подвозбудитель

Если нулевая точка обмотки статора недоступна, измеряются только междуфазные напряжения. Величина остаточного междуфазного напряжения генератора обычно не превышает 200 *в*.

Одновременно с измерением остаточного напряжения на первичной стороне статора фазоуказателем ФУ-2 производится проверка чередования фаз генератора.

Снятие характеристики холостого хода возбудителя и подвозбудителя. На рис. 137 показана схема, по которой производится снятие характеристик холостого хода возбудителя и подвозбудителя гидрогенератора. Характеристика снимается при постоянных и номинальных оборотах генератора и при разомкнутой цепи якоря.

Перед проведением испытания должен быть произведен тщательный осмотр поверхности коллекторов. Автомат гашения поля *АГП* ротора должен быть отключен при испытаниях возбудителя, а при испытании подвозбудителя последний должен быть отключен от обмотки возбуждения возбудителя *АГВ*. Напряжение поднимается плавно от нуля до значения испытательного для витковой изоляции.

Кривые холостого хода снимаются для восходящей и нисходящей ветвей. Характеристики холостого хода, как нам уже известно, строятся по среднему их значению. При снятии восходящей ветви кривой холостого хода ток возбуждения увеличивают. Снятие нисходящей ветви кривой холостого хода производят, изменяя ток возбуждения в сторону уменьшения.

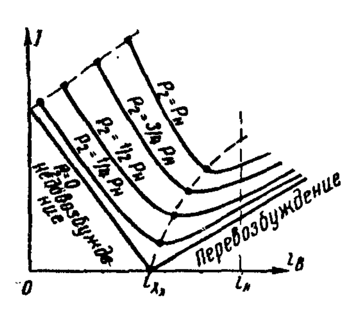


Рис. 138. U-образные характеристики синхронного электродвигателя при различных нагрузках

При испытаниях измеряются напряжение на зажимах машины и токи возбуждения. Всего должно быть сделано не менее 10 отсчетов тока и напряжения по восходящей и нисходящей кривой.

Отклонение снятой характеристики от заводской или ранее снятой не нормируется. Практически оно не должно выходить за пределы, обусловленные погрешностью измерений.

Во время снятия характеристик холостого хода и испытания витковой изоляции производится наблюдение за коллектором; при появлении кругового огня опыт должен быть немедленно прекращен.

Определение величины потолочного напряжения холостого хода возбудителя производится после испытания витковой изоляции. Для проведения опыта возбудитель возбуждается до номинального напряжения холостого хода, после чего включают контактор форсировки возбуждения, чем шунтируются сопротивления в цепи возбуждения возбудителя. При опыте измеряется величина потолочного напряжения.

Снятие нагрузочной характеристики синхронного электродвигателя. Под нагрузочной характеристикой понимается зависимость потребляемого тока статора от тока возбуждения при условии постоянства частоты, напряжения на выводах и полезной мощности на валу электродвигателя $[I_{ст}=f(i_в)]$. Эту характеристику называют также U-образной (рис. 138). Практически безразлично, работает ли испытываемая машина в режиме синхронного электродвигателя или в режиме синхронного генератора, — характеристика испытания в обоих случаях снимается одинаково. Снятие U-образной характеристики холостого хода машины является не обязательным по объему и нормам приемно-сдаточных испытаний, однако снятие такой характеристики при наладке разных синхронных электродвигателей является желательным, так как это дает ясную картину условий регулирования возбуждения синхронного электродвигателя.

Опыт по снятию нагрузочных характеристик производится по схеме, показанной на рис. 139. Приборы применяются класса точности не ниже 0,5. У испытуемого электродвигателя необходимо постепенно повышать его возбуждение, сохраняя при этом неизменное напряжение на выводах. Сначала при постепенном повышении возбуждения ток статора поднимается до номинального значения и даже несколько выше (но не более 125%). Далее ток возбуждения снижается ступенями, при этом уменьшается и ток статора, достигая своего минимального значения. Это будет иметь место при токе возбуждения, который по характеристике холостого хода примерно соответствует номинальному напряжению. Когда потребляемый ток достигает наименьшего возможного значения, показания обоих ваттметров в схеме измерения мощности станут одинаковыми; а это значит, что коэффициент мощности (cos φ) стал равен единице.

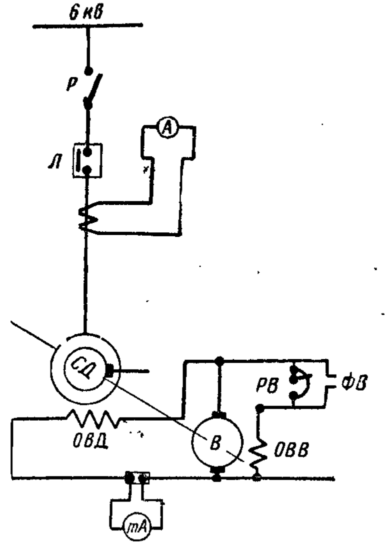


Рис. 139. Схема для снятия U-образной характеристики синхронного электродвигателя:

Р — разъединитель, *Л* — выключатель, *СД* — синхронный электродвигатель, *ОВД* — обмотка возбуждения двигателя, *В* — возбудитель, *ОВВ* — обмотка возбуждения возбудителя, *РВ* — реостат возбуждения, *ФВ* — форсировка возбуждения, *mA* — миллиамперметр

Первая половина опыта позволяет записать точки правой ветви характеристики (рис. 138, кривая $P_2 = 0$), соответствующей перевозбужденному электродвигателю, т. е. его работе в качестве компенсатора с опережающим (емкостным) cos φ. В данном режиме электродвигатель может оставаться длительно, так как способствует повышению напряжения сети и сам работает устойчиво. Левая ветвь характеристики снимается путем дальнейшего понижения возбуждения; при этом ток статора возрастает, а из сети забирается реактивная мощность.

Во избежание выпадения из синхронизма при снятии левой ветви характеристики ток статора устанавливается равным не более 60—80% номинального значения.

U-образные характеристики желательно снять не только при холостом ходе, но также во время работы под нагрузкой. По данным U-образных характеристик устанавливается пусковое положение реостата возбуждения и определяется общий диапазон регулирования, а в схемах автоматического управления настраиваются параметры регуляторов.

§ 12. СНЯТИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТРЕХФАЗНЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Опыт холостого хода. Под холостым ходом подразумевают работу электродвигателя, присоединенного к сети и не соединенного с нагрузкой. Ток и потери холостого хода определяются из опыта холостого хода.

При опыте холостого хода должны быть измерены подведенное линейное напряжение между тремя фазами, частота, ток статора в каждой из трех фаз, потребляемая мощность.

Измерение потребляемой мощности холостого хода P_0 для электродвигателей мощностью от 10 *квт* и выше следует производить по схеме двух ваттметров или одного трехфазного ваттметра. При этом рекомендуется пользоваться ваттметрами, предназначенными для измерений при низких коэффициентах мощности. При повышенном напряжении сети и относительно больших токах (больше 200 *а*) все измерительные приборы включаются через измерительные трансформаторы тока и напряжения. Амперметры и последовательные обмотки ваттметров выбираются так, чтобы можно было измерить величину тока от холостого хода (I_0) до номинального ($I_{ном}$) его значения. Вольтметры и параллельные обмотки ваттметров должны быть выбраны так, чтобы можно было произвести измерения при напряжении U_0, превышающем номинальное на 20—30%. При этом вольтметр рекомендуется включать через вольтметровый переключатель так, чтобы можно было контролировать степень симметрии подводимого к электродвигателю напряжения. Для контроля частоты источника, питающего электродвигатель, в схему испытания включается частотомер.

Перед началом испытания должен быть сделан внешний осмотр машины. В дополнение к тому, что было уже сказано в § 2 настоящей главы, необходимо проверить у крупных машин чистоту камер и отсеков корпуса статора; осмотреть все лобовые соединения обмотки статора, распорки и бандажи на них (не касаются ли обмоток какие-либо металлические части крышек, станины, термометров и т. п.). У машин с фазным ротором, кроме того, проверяется состояние камер, щеток и действие механизма закорачивания кольца.

В электродвигателях с фазным ротором при опыте холостого хода пусковой реостат должен быть полностью выведен и обмотка ротора закорочена на кольцах.

Перед опытом холостого хода электродвигатель должен проработать некоторое время (от 15 до 60 *мин*) без нагрузки для прогрева подшипников. После того как температура подшипников в процессе обкатки установилась, можно, не останавливая машину, приступить к опыту холостого хода. Снятие характеристики холостого хода осуществляется постепенным понижением

приложенного напряжения к статору, начиная с наибольшего значения, равного 130% номинального и кончая возможно более низким.

Измерения следует производить для нескольких точек характеристики холостого хода, т. е. примерно в следующих пределах: 130; 125; 120; 110; 100 $U_{ном}$ и т. д. При этом обычно измеряются линейные значения напряжений и токов. За линейное напряжение холостого хода U_0 принимается среднее арифметическое из трех измеренных значений напряжения. За линейный ток холостого хода I принимается среднее арифметическое из трех измеренных значений тока. Измеряемая мощность холостого хода электродвигателя P_0 определяется как алгебраическая сумма показаний двух ваттметров:

$$P_0=(\alpha_1+\alpha_2)\ C_w,$$

где α_1 и α_2 — отклонения ваттметров в делениях;

C_w — постоянная ваттметра.

Правильность результатов опыта холостого хода зависит от качества напряжения, приложенного к обмоткам статора. При этом важно, чтобы соблюдались симметричность линейных напряжений, правильность формы кривой напряжения, постоянство частоты.

Мощность, потребляемая электродвигателем при холостом ходе P_0, в основном затрачивается на покрытие потерь в электродвигателе, которые состоят из потерь в обмотке статора $P_{ом}$ от тока холостого хода (потери в меди), потерь в стали $P_{ст}$ (на гистерезис и вихревые токи), механических и добавочных потерь в машине $P_{мех}$ (потери в подшипниках, потери на трение щеток о кольца, потери на трение о воздух). Потери в обмотке статора ($P_{ом}$) при соединении фаз электродвигателя в звезду вычисляются по формуле

$$P_{ом} = 3I^2_{оф}R_0,\ вт;$$

при соединении фаз в треугольник — по формуле

$$P_{ом} = I_0{}^2R_0,\ вт,$$

где $I_{оф}$ — фазный ток холостого хода;

I_0 — линейный ток холостого хода;

R_0 — сопротивление одной фазы статора при температуре опыта.

Если в обмотку предварительно были заложены термодетекторы, то сопротивление R_0 может быть подсчитано на основании их показаний. В противном случае сопротивление легко определить, зная величину потерь, по формуле

$$P_{ом} = 3I_{оф}{}^2R_0.$$

Сумму потерь в стали двигателя $P_{ст}$ и механических потерь $P_{мех}$ можно получить путем вычисления потерь в обмотке статора из потребляемой электродвигателем мощности P_0. В этом случае

$$P_0' = P_0 - 3I^2_{оф}R_0 = P_{ст} + P_{мех}.$$

Для отделения механических потерь от потерь в стали следует построить кривую зависимости суммы потерь в стали и механических потерь от квадрата напряжения и экстраполировать ее до пересечения с осью ординат (рис. 140); отрезок, отсекаемый на оси ординат, представляет собой механические потери в ваттах. При отделении механических потерь от потерь в стали следует иметь в виду, что при очень низких напряжениях потери могут увеличиваться при понижении напряжения вследствие увеличения скольжения.

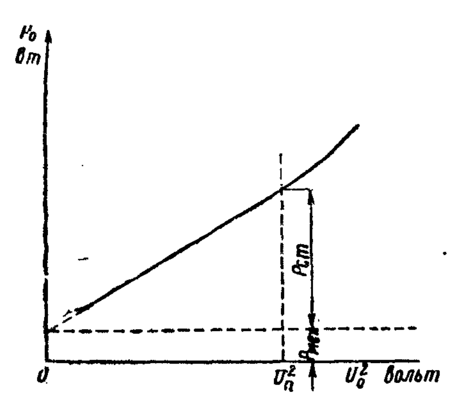


Рис. 140. Кривая зависимости суммы потерь в стали и механических потерь от квадрата напряжения

Коэффициент мощности холостого хода ($\cos \varphi_0$) определяют по формуле

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3}\, U_0 I_0}.$$

Для контроля рекомендуется определять коэффициент мощности по отношению показаний двух ваттметров $\pm\frac{a_1}{a_2}$, пользуясь кривой, изображенной на рис. 141. Расчетные данные опыта холостого хода заносятся в таблицу.

Для графического изображения результатов опыта холостого хода следует отложить в функции от напряжения U_0 ток холостого хода I_0, потери холостого хода P_0 и коэффициент мощности.

В качестве примера кривые такого рода приведены на рис. 142. Из кривых следует, что ток холостого хода при напряжениях выше номинального довольно велик, а потребляемая мощность относительно невелика. Происходит это потому, что коэффициент мощности ненагруженного асинхронного электродвигателя очень низок.

С понижением напряжения убывают только потери в стали и в обмотке статора, в то время как механические потери оста-

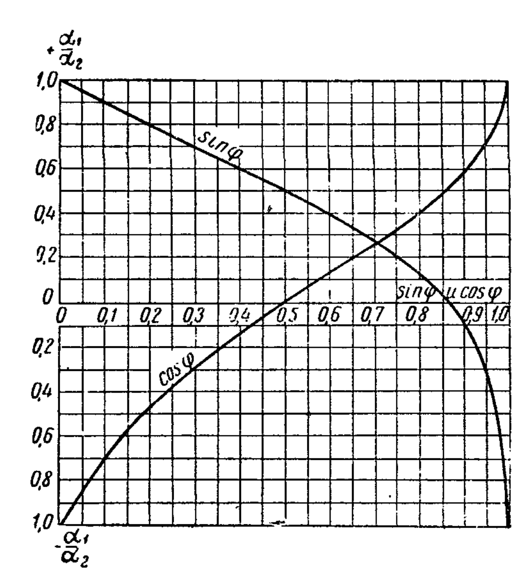


Рис. 141. График для определения cos φ по соотношению показаний приборов при схеме двух ваттметров α_1/α_2

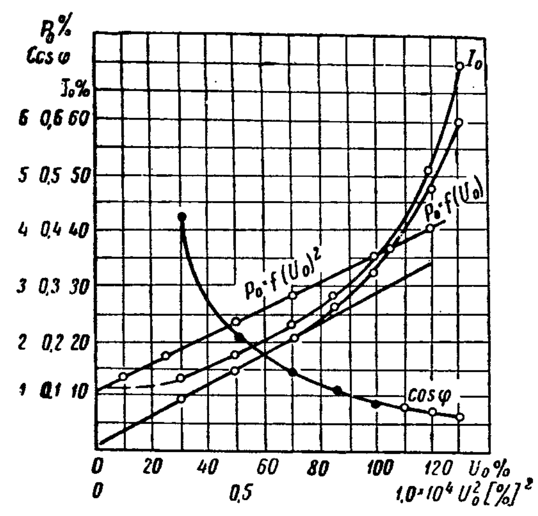


Рис. 142. Характеристики холостого хода асинхронного электродвигателя

ются неизменными, так как они зависят не от напряжения, а от скорости вращения, которая во время опыта остается практически постоянной.

По результатам опыта холостого хода машины можно сделать некоторые выводы, например: при увеличенном токе холостого хода (I_0) и нормальных потерях (P_0) может быть увеличен воздушный зазор между статором и ротором, против установленных норм, для данного типа машины; при нормальном токе холостого хода и увеличенных потерях могут быть увеличены механические потери ($P_{мех}$) — слишком зажаты подшипники качения, неправильно или несоответствующий вентилятор надет на вал ротора и т. д.

Для нормального проведения опыта холостого хода машины необходимо, чтобы частота f при снятии характеристики не отличалась от номинальной частоты $f_{ном}$ более чем на $\pm 2\%$. Если она отличается от вышеуказанного значения, то измеренные величины надо привести к номинальной частоте, для чего значение линейного напряжения следует пересчитать по формуле

$$U_0' = \frac{f_{ном}}{f} U_0,$$

где U_0' — напряжение холостого хода, приведенное к номинальной частоте $f_{ном}$;

U_0 — напряжение холостого хода, измеренное при частоте f_0;

I_0 — значение линейного тока остается без изменения.

Потери холостого хода (P_0') при номинальной частоте $f_{ном}$ определяются по формуле

$$P_0' = P'_{ом} + P'_{мех} + P'_{ст},$$

где $P'_{мех}$ и $P'_{ст}$ — потери механические и потери в стали при частоте $f_{ном}$.

При испытании многоскоростных электродвигателей опыт холостого хода должен быть произведен для каждой скорости.

Опыт короткого замыкания. Под опытом короткого замыкания асинхронного электродвигателя подразумевается питание обмотки статора при заторможенном роторе и закороченных контактных кольцах (в электродвигателях с фазным ротором). Опытом короткого замыкания асинхронного электродвигателя определяются ток и потери короткого замыкания, а также начальный пусковой ток и начальный пусковой вращающий момент.

При опыте короткого замыкания должны быть измерены подводимое напряжение, ток статора, потребляемая мощность, вращающий момент и сопротивление обмотки статора (непосредственно после опыта).

Потребляемая мощность, как и в предыдущем опыте, измеряется по схеме двух ваттметров или одним трехфазным ваттметром; класс точности для однофазных ваттметров от 0,2 до 0,5 и трехфазных ваттметров от 0,5 до 1. Для измерения мощности короткого замыкания рекомендуются приборы электро-

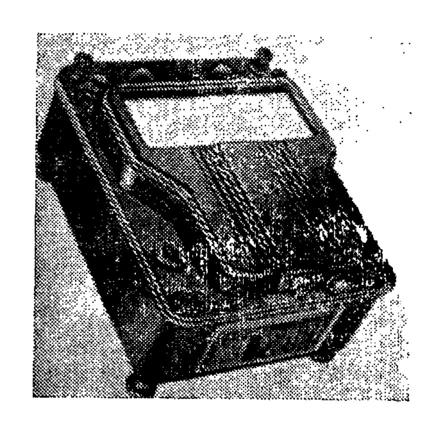


Рис. 143. Ваттметр Д-522

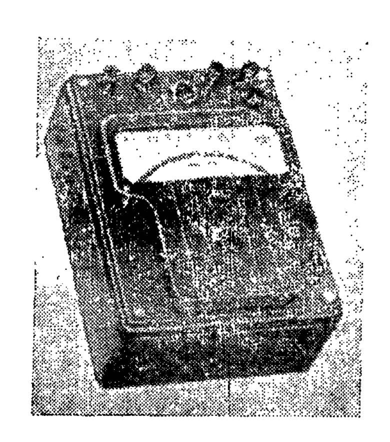


Рис. 144. Ваттметр Д-527

динамической системы, экранированные переносные, например ваттметры: Д-522 (рис. 143), Д-527 (рис. 144) и Д-529 (рис. 145).

ГОСТ 7217—59 разрешает измерять ток в двух фазах, т. е. двумя амперметрами; напряжение между двумя фазами при наличии симметрии линейных напряжений — одним вольтметром.

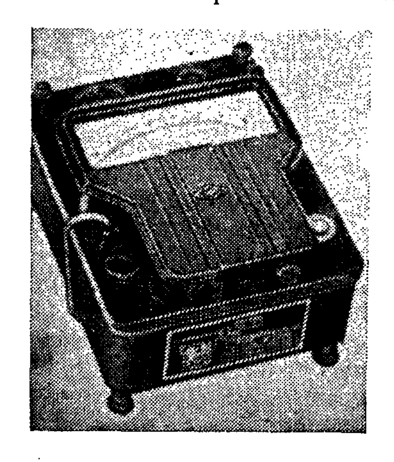


Рис. 145. Ваттметр Д-529

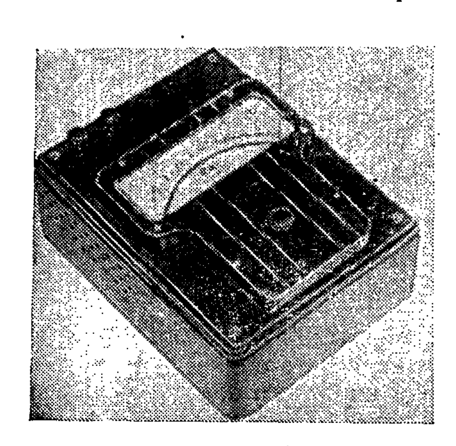


Рис. 146. Миллиамперметр Д-526

Для измерения напряжения и тока рекомендуются также следующие переносные приборы электродинамической системы: вольтметры ЭЛВ, класса точности 0,2; типа Д-523 и Д-525, класса точности 0,5; амперметры Д-526 (рис. 146), класса точности 0,5 и др.

Вращающий момент при опыте короткого замыкания электродвигателей до 100 *квт* следует измерять динамометром или весами. Для этой цели необходимо затормаживать двигатель посредством рычага, надеваемого на конец его вала; при этом необходимо точно установить направление вращения электродвигателя, при ошибке в момент включения он может сорвать приспособление затормаживания.

Для электродвигателей свыше 100 *квт* вращающий момент допускается подсчитывать по измеренным потерям короткого замыкания.

При выполнении опыта короткого замыкания заторможенный электродвигатель включается на напряжение, составляющее 15—20% номинального, затем напряжение быстро поднимается до требуемого значения. Немедленно после отсчета электродвигатель отключается. При опыте короткого замыкания первая точка снимается при наибольшем напряжении, соответствующем наибольшему току $I_к$, затем, регулируя напряжение $U_к$, постепенно уменьшают ток $I_к$ до нижнего предела. Всего при опыте короткого замыкания должно быть снято 5—7 точек при различных значениях подводимого напряжения. Отсчет для каждой точки следует производить в течение не более 10 *сек.* во избежание чрезмерного нагрева обмотки током короткого замыкания. Для быстрого проведения опыта необходимо, чтобы все отсчеты делались по сигналу немедленно после того, как установятся показания приборов, причем на каждого наладчика, ведущего испытания, должно приходиться не более двух приборов.

Выше было сказано, что непосредственно вслед за снятием последней точки рекомендуется измерять сопротивление обмотки статора методами, изложенными в § 2 главы первой и в § 5 настоящей главы с тем, чтобы определить температуру обмотки статора Если от испытания не требуется большой точности, обычно вместо измерения сопротивления измеряется температура обмотки посредством термодетекторов или термопар, заложенных ранее в пазы электродвигателя или установленных на время испытания.

Испытание электродвигателей мощностью свыше 100 *квт* выполняется таким образом, чтобы максимальное значение тока короткого замыкания было не ниже 2,5—3-кратного номинального. Одна из точек характеристики должна быть снята при напряжении, указанном в табл. 22.

Данные опыта короткого замыкания заносятся в таблицу.

Таблица 22

Наименьшие напряжения при опыте короткого замыкания в электродвигателях в зависимости от напряжения электродвигателя

Номинальные напряжения двигателя, *в*	127	220	380	500	3000	6000
Напряжение короткого замыкания, *в*	33	58	100	130	800	1000

Обработка результатов опыта короткого замыкания производится следующим образом. Если при опыте короткого замыкания линейные напряжения измеряются не одним, а тремя вольтметрами (это обычно делают при резкой несимметрии линейных напряжений), то за расчетное значение линейного напряжения $U_к$ принимают среднее арифметическое из всех трех измеренных линейных напряжений. За расчетное значение линейного тока $I_к$ короткого замыкания принимают среднее арифметическое из двух или трех измеренных линейных токов. Если мощность измеряется по методу двух ваттметров, то расчетное значение мощности короткого замыкания принимается как алгебраическая сумма $P_к = (P_1 \pm P_2)$.

По расчетным данным линейных напряжений и токов $U_к$, $I_к$ и мощности $P_к$ определяется коэффициент мощности короткого замыкания по формуле

$$\cos\varphi_к = \frac{P_к}{\sqrt{3} \cdot U_к \cdot I_к},$$

где $U_к$ — линейное напряжение короткого замыкания;

$I_к$ — линейный ток короткого замыкания (среднее арифметическое из двух измеренных значений);

$P_к$ — потребляемая мощность короткого замыкания в ваттах принимается по показаниям двух ваттметров или по показанию одного трехфазного ваттметра.

Для контроля рекомендуется определять коэффициент мощности по соотношению показаний двух ваттметров, согласно кривой (рис. 141).

Вычисленные данные короткого замыкания заносятся в таблицу.

Для графического изображения результатов опыта короткого замыкания следует отложить в функции от напряжения $U_к$ следующие величины: ток короткого замыкания $I_к$, потери короткого замыкания $P_к$, коэффициент мощности $\cos\varphi_к$ и вращающий момент при коротком замыкании $M_к$ или потери в обмотке ротора $P_{км2}$, т. е. $I_к$, $P_к$, $P_{м2}$, $\cos\varphi_к = f(U_к)$.

На рис. 147 приведен пример характеристик короткого замыкания трехфазного асинхронного электродвигателя. При ко-

ротком замыкании почти вся потребляемая мощность затрачивается на нагревание обмоток, но выделение тепла пропорционально квадрату величины электрического тока. Такая зависимость носит название квадратичной.

Потери в обмотке ротора ($P_{км2}$) определяются вычислением по формуле

$$P_{км2} = P_к - P_{км1} - P_{ст},$$

где $P_{км1}$ — потери в обмотке статора при опыте короткого замыкания, *квт*;

$P_{ст}$ — потери в стали, взятые из опыта холостого хода, при напряжении, равном напряжению короткого замыкания, *квт*.

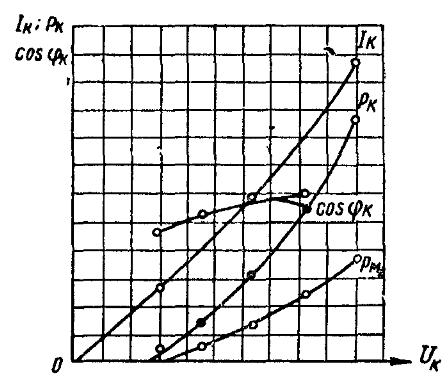


Рис. 147. Характеристики короткого замыкания асинхронного электродвигателя

Потери в обмотке статора ($P_{км1}$) при опыте короткого замыкания определяются в случае соединения фаз в звезду по формуле

$$P_{км1} = \frac{3 \cdot I_{кф}^2 R_{1к}}{1000},$$

в случае соединения их в треугольник — по формуле

$$P_{1м} = I_к^2 R_{1к},$$

где $I_{кф}$ — фазный ток короткого замыкания;

$R_{1к}$ — сопротивление одной фазы статора, измеренное непосредственно после опыта короткого замыкания.

Вращающий момент при коротком замыкании, соответствующий номинальному напряжению, называемый начальным пусковым вращающим моментом $M_{кн}$ (ГОСТ 183—55), определяется путем пересчета по следующей формуле

$$M_{кн} = \left(\frac{I_{кн}}{I_к}\right)^2 \cdot M_к,$$

где $M_к$ — вращающий момент, измеренный или рассчитанный при наибольшем напряжении опыта короткого замыкания, *кГм*;

$I_{кн}$ — ток короткого замыкания при номинальном напряжении, который называется начальным пусковым током, *а*.

Начальный пусковой вращающий момент и начальный пусковой ток для электродвигателей с короткозамкнутым ротором определяются из опыта короткого замыкания, изложенного выше; кратность начального пускового тока определяется как отношение начального пускового тока ($I_{кн}$) при номинальном напряжении к номинальному току электродвигателя ($I_{ном}$), т. е. $\frac{I_{кн}}{I_{ном}}$.

Отношение начального пускового вращающего момента к номинальному вращающему моменту носит название кратности начального пускового вращающего момента, т. е. $\frac{M_{кн}}{M_{ном}}$.

При испытании многоскоростных электродвигателей опыт короткого замыкания должен быть проведен для каждого включения обмотки статора, соответствующего своей номинальной скорости вращения.

§ 13. НАЛАДКА ЭЛЕКТРОПРИВОДА С АСИНХРОННЫМИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ

Общие сведения. Схемы электропривода с асинхронными электродвигателями весьма разнообразны, в то же время управление этими электродвигателями относительно несложно. Наибольшее распространение в промышленности получил электропривод с асинхронными электродвигателями как высокого, так и низкого напряжения, с короткозамкнутым ротором и с фазным ротором. В настоящее время большое применение имеют асинхронные многоскоростные электродвигатели низкого напряжения, особенно в приводе металлообрабатывающих станков.

Асинхронный электродвигатель, как известно, имеет жесткую механическую характеристику, т. е. такую зависимость, когда скорость вращения электродвигателя очень мало изменяется с изменением мощности на его валу. Поэтому регулирование скорости вращения (*об/мин*) при питании асинхронных электродвигателей от сети переменного тока с частотой 50 *гц* весьма ограничено. Включение сопровождается обычно толчком тока, кратность которого колеблется в пределах от 2,5 до 10 номинального тока в зависимости от типа электродвигателя, скорости его вращения и др.

Асинхронные электродвигатели с фазным ротором дают возможность ограничить при включении пусковой ток статора путем введения сопротивления в цепь обмотки ротора электродвигателя. Этим же способом, включая в цепь обмотки ротора различные по величине сопротивления, можно регулировать скорость вращения электродвигателя. Такое регулирование скорости вращения возможно в достаточно широких пределах, в зависимости от величины и числа ступеней сопротивления; значительные потери энергии в сопротивлениях ограничивают применение данного способа регулирования приводов, работающих в кратковременном или повторно-кратковременном режиме, например в крановых электродвигателях.

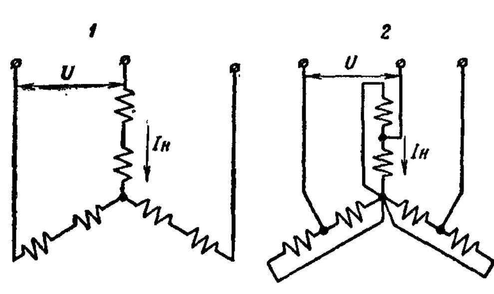


Рис. 148. Схемы переключения многоскоростного электродвигателя со звезды на двойную звезду

Асинхронные короткозамкнутые многоскоростные электродвигатели дают возможность регулировать скорость вращения путем переключения числа полюсов обмотки статора электродвигателя. При этом регулирование скорости вращения является ступенчатым. Отечественная промышленность выпускает многоскоростные асинхронные электродвигатели, которые могут иметь при переключении числа полюсов две, три и четыре скорости вращения, например 3000—1500—1000—500 синхронных *об/мин*.

Многоскоростные электродвигатели выполняются только с короткозамкнутым ротором, чтобы слишком не усложнять конструкцию электродвигателя. В этом случае статорная обмотка асинхронного электродвигателя изготовляется с большим числом выводов и при различных нагрузках секции обмотки включаются по схемам, представленным на рис. 103. При этом на концах каждой секции статорной обмотки электродвигателя получаются различные напряжения. Схемы выбираются таким образом, чтобы по мере увеличения нагрузки напряжение на концах каждой секции возрастало. Регулирование скорости путем изменения числа пар полюсов осуществимо только при условии, если обмотка каждой фазы статора состоит из двух частей. Сам процесс регулирования заключается в переключении обмоток статора с последовательного соединения их частей на параллельное.

В качестве примера на рис. 148 приведена схема переключения со звезды на двойную звезду (цифрой *1* обозначено соеди-

нение звездой, цифрой *2* — двойной звездой). Применение таких электродвигателей обеспечивает повышение к. п. д. и $\cos\varphi$ электродвигателя при малых нагрузках. Регулирование скорости в этих случаях получается ступенчатое и используется в некоторых металлорежущих станках, подъемно-транспортных механизмах, насосах и других механизмах, в которых плавность регулирования не является обязательным условием, а механизм упрощается, поскольку для него не требуется механических регулирующих передач.

Плавное и устойчивое регулирование скорости электродвигателей переменного тока в широких пределах может быть обеспечено путем изменения частоты питающего тока с помощью независимого источника энергии, частота которого может быть регулируема. Данный способ регулирования скорости может быть применен для одного или нескольких асинхронных электродвигателей, работающих в одном и том же режиме. Например, транспортные роликовые устройства сортопрокатных станков имеют более сотни индивидуальных приводов отдельных роликов от короткозамкнутых асинхронных электродвигателей. Однако такие схемы применяются редко, так как установка специального преобразовательного агрегата требует дополнительных затрат.

Основным методом управления асинхронным электродвигателем является контакторное управление. Распространенным аппаратом для пуска асинхронных короткозамкнутых электродвигателей низкого напряжения является магнитный пускатель. Элементарные схемы управления асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором без изменения направления вращения (нереверсивным) и с изменением направления вращения (реверсивным) приведены на рис. 149.

Цепи управления питаются от сети 380 *в*. При наладке такой схемы с цепями управления, питающимися от напряжения 380 *в*, необходимо соблюдать особую осторожность, так как появление случайного замыкания на землю за катушкой *ПМ* магнитного пускателя в направлении кнопки «пуск» *КП* может привести к самозапуску электродвигателя, если напряжение втягивания втягивающей катушки *ПМ* магнитного пускателя близко к фазному напряжению сети 220 *в*. Обычно напряжение втягивания катушки магнитного пускателя 380 *в* колеблется в пределах 225÷260 *в*. При повышенном линейном напряжении питающей сети, что часто бывает на новостройках, фазное напряжение может превысить нижний предел напряжения втягивания катушки магнитного пускателя, тем самым увеличить опасность произвольного запуска электродвигателя при появлении замыкания на землю. Питание вторичных цепей осуществляют также и от фазного напряжения.

При правильном включении катушки магнитного пускателя

самозапуск электродвигателя исключен. На рис. 150 показаны правильная (*а*) и неправильная (*б*) схемы включения втягивающей катушки магнитного пускателя.

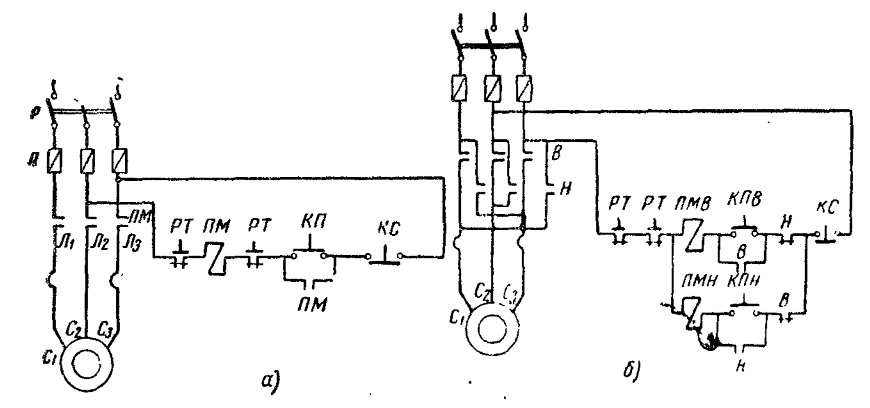


Рис. 149. Схемы управления асинхронными электродвигателями:

а — нереверсивная, *б* — реверсивная; *В* и *Н* — главные контакты и блок-контакты магнитного пускателя *ПМ* при движении электропривода вперед и назад, *ПМВ* и *ПМН* — втягивающие катушки магнитного пускателя, *КПВ* и *КПН* — кнопки пуска вперед и назад, *КС* — кнопка «Стоп», *РТ* — тепловое реле

Наладка схем электропривода. Наладка схемы асинхронного электродвигателя начинается с осмотра электродвигателя и проверки соответствия электродвигателя проекту.

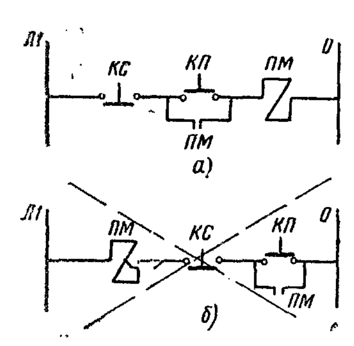


Рис. 150. Схемы включения катушки магнитного пускателя:

а — правильная, *б* — неправильная

Каждый электродвигатель снабжается паспортом, на котором обычно указываются: завод-изготовитель, номер электродвигателя, год выпуска, напряжение и ток статора, схема соединения фаз, мощность, коэффициент полезного действия (к. п. д.), коэффициент мощности ($\cos\varphi$), скорость вращения — оборотов в минуту, продолжительность работы (ПР%). Если электродвигатель с фазным ротором, то на паспорте указываются напряжение и ток ротора. Указанные на паспорте данные, характеризующие электродвигатель, называются номинальными данными. У многоскоростных электродвигателей указывается схема выводов обмоток статора для включения на соответствующую скорость. Номинальные данные электродвигателя записываются в протокол наладки.

Перед проведением наладки должен быть произведен внешний осмотр двигателя.

Одним внешним осмотром электродвигателя невозможно полностью установить качество монтажа или ремонта. Только впоследствии, при пробном пуске и прокручивании электропривода вхолостую и при номинальной нагрузке устанавливается пригодность электропривода к длительной эксплуатации.

После внешнего осмотра электродвигателя наладчик приступает к проверке схемы электропривода и наладке аппаратуры управления. Выполнив операции по проверке схемы и наладке аппаратуры управления, следует приступить к наладке схемы в целом.

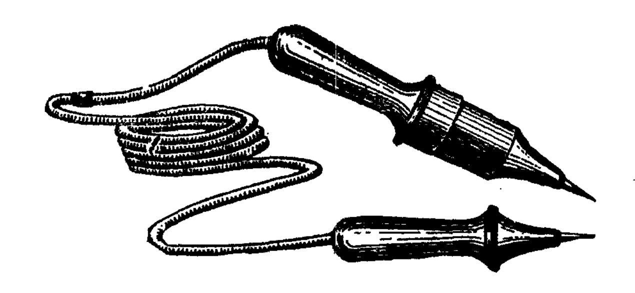


Рис. 151. Внешний вид токоискателя ТИ-2

Проверка схемы управления электропривода с асинхронным нереверсивным электродвигателем с короткозамкнутым ротором производится при отсоединенном электродвигателе, для чего необходимо отключить рубильник *Р*, отсоединить концы проводников C_1, C_2 и C_3 и заизолировать их (рис. 149). Затем с помощью токоискателя (рис. 151) или контрольной лампы мощностью 15—25 *вт* убеждаются в наличии напряжения на верхних губках рубильника *Р*, проверяют наличие плавкой вставки в патронах предохранителей и включают рубильник, после чего схема готова к испытанию.

Нажатием кнопки «пуск» *КП* включается пускатель; при прекращении нажатия кнопки *КП* пускатель должен остаться в включенном положении, так как его н. о. (нормально открытый) контакт *ПМ* зашунтирует кнопку *КП*. Нажав на кнопку «стоп» *КС*, цепь катушки контактора должна разомкнуться, а контактор отпасть. Затем следует вручную расцепить контакты тепловых реле *РТ* и нажать на кнопку *КП*, при этом пускатель не должен включаться. Затем специальной кнопкой возврата теплового реле следует восстановить н. з. (нормально за-

крытый) контакт одного теплового реле и опять нажать кнопку *КП*. В таком положении пускатель не должен включаться, так как второй контакт реле *РТ* еще разомкнут; только после восстановления второго н. з. контакта *РТ* при нажатии кнопки *КП* пускатель должен включиться.

Затем наладчик, надев резиновую перчатку, размыкает при помощи отвертки с изолированной рукояткой блок-контакт *ПМ* включенного пускателя; при этом пускатель отключается, так как разрывается цепь катушки *ПМ*. Такая проверка схемы убеждает наладчика в правильной ее работе.

После проверки по элементам рубильник *Р* отключается, присоединяются концы C_1, C_2, C_3 электродвигателя и при отсоединенном механизме включением рубильника *Р* собирается схема для опробования электродвигателя вхолостую. Один из наладчиков должен стать у кнопок управления, а второй около электродвигателя. По установленному сигналу нажимается кнопка *КП* и вслед за этим кнопка «стоп» *КС*, проверяется направление вращения и отсутствие ненормальностей в электродвигателе, например задевание вентилятора за корпус электродвигателя, после чего производится опробование электропривода с механизмом.

В период пробного прокручивания в течение 1—2 *час* наладчики наблюдают за электродвигателем и аппаратурой схемы. Если температура электродвигателя за этот период времени установилась в пределах допустимой, нагрев в режиме нагрузки считается нормальным. Измерение температуры электродвигателей производится только при наличии специально заложенных на заводе-изготовителе термодетекторов (которые закладываются обычно у крупных электродвигателей); методы измерения температур приведены в главе 1, § 4.

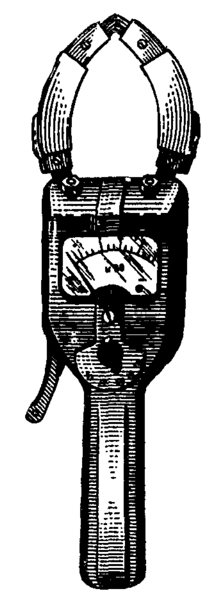
Длительно работающие электродвигатели имеют в необходимых случаях (ПУЭ, гл. V—3) тепловую защиту *РТ*, которая защищает электродвигатель в случаях увеличения тока статора, например, при ненормальной работе механизма.

Схема реверсивного электродвигателя (рис. 149, *б*) отличается от схемы, приведенной на рис. 149, *а* тем, что в ней применяется реверсивный пускатель, изменяющий порядок включения фаз и тем самым направление вращения. Цепь управления «назад» проверяется аналогично описанному выше. Следует дополнительно проверить взаимную блокировку блок-контактами *В* и *Н*, а также механическую блокировку реверсивных пускателей. При опробовании электродвигателя вхолостую и с механизмом измеряются электроизмерительными клещами Ц-30 (рис. 152) ток холостого хода и ток нагрузки электродвигателя.

Проверка схемы управления электропривода с асинхронным электродвигателем с фаз-

ным ротором. Схема включения обмотки статора асинхронного электродвигателя с фазным ротором отличается от схемы короткозамкнутого электродвигателя (см. рис. 149, *а*) лишь в части включения ротора.

Схемы включения сопротивлений в цепи ротора электродвигателя достаточно разнообразны; наиболее простая схема осуществляется с помощью специального пускового устройства — контроллера. Наибольшее распространение имеют контакторные схемы включения сопротивления цепи ротора, включение контакторов производится контактами реле ускорения. Количество ступеней в цепи ротора бывает различное в зависимости от мощности и других параметров электропривода.


Рис. 152. Внешний вид электроизмерительных клещей Ц-30

Автоматизация пуска электродвигателей дает возможность устранить ошибки ручного включения, особенно это важно для привода мощных машин и механизмов, у которых величина пускового тока регулируется при помощи пусковых сопротивлений. Отключение этих сопротивлений должно производиться при определенной величине тока, обеспечивающей разворот механизма в соответствии с его статическим моментом при пуске. Этому току соответствуют определенные скорости электродвигателя, достигаемые последним через определенные промежутки времени; отсюда следует, что автоматическое управление пуском можно производить в зависимости от времени и тока.

Включение в зависимости от времени контролируется маятниковыми реле с часовым механизмом (рис. 338), дающим возможность настраивать различную выдержку времени на включение каждой ступени, или электромагнитными реле времени РЭ-180 с выдержкой времени на замыкание контактов (рис. 339). Такую настройку по времени можно также производить пневматическими моторными, электронными и другими реле времени.

Схемы управления в зависимости от времени имеют значительное преимущество перед другими схемами, так как дают возможность использовать однотипные реле времени и исключают продолжительную работу электродвигателя с пониженной скоростью; если в момент переключения сопротивления возрастет нагрузка, в результате чего возникнет большой толчок тока, поскольку электродвигатель не достигнет еще установленной

скорости, то сработает максимальная защита и отключит электродвигатель.

Включение в зависимости от тока осуществляется при помощи специального реле тока РЭ-190 (рис. 153), которое разрешает реле ускорения включать контакторы ускорения только в

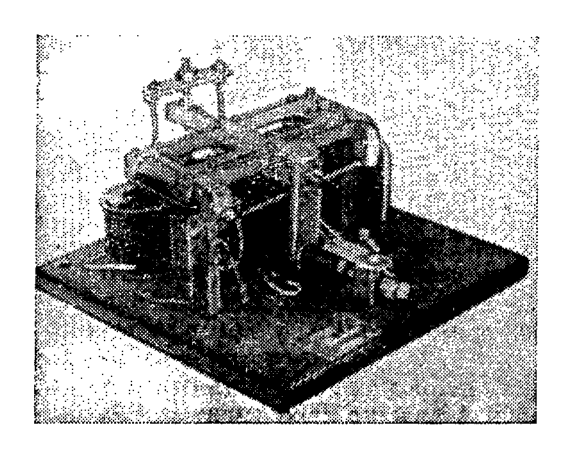


Рис. 153. Внешний вид реле переменного тока РЭ-190

случае, если ток спадает в период разгона электродвигателя до определенной, предусмотренной расчетом величины на данной ступени ускорения. Указанные способы управления в цепи ротора являются наиболее распространенными в промышленном электроприводе.

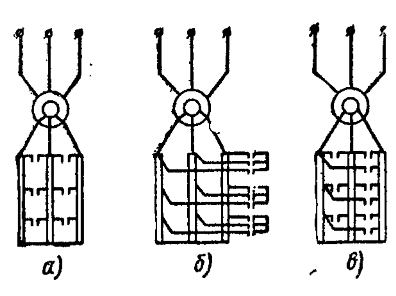


Рис. 154. Схемы включения ступеней сопротивления в цепи фазного рогора асинхронных электродвигателей:

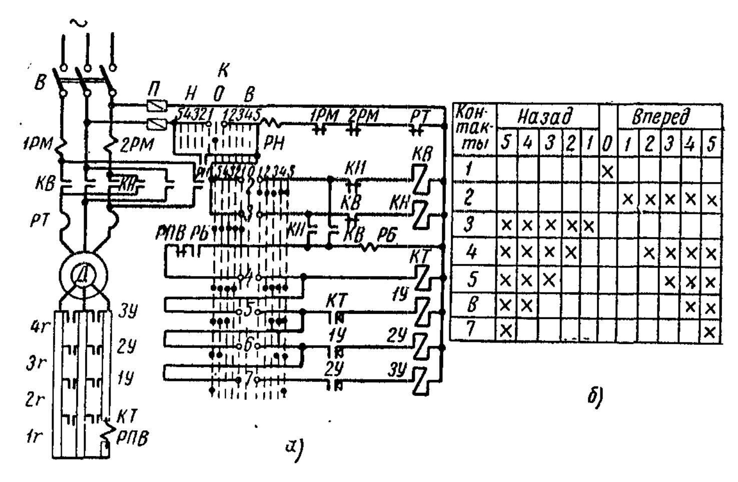
а — неполная звезда, *б* — полная звезда, *в* — треугольник

Схемы включения пусковых сопротивлений в цепи фазного ротора выполняются тремя способами (рис. 154): а) при соединении двух контакторов в неполную звезду; б) при соединении трех контакторов в полную звезду; в) при соединении трех контакторов треугольником.

На рис. 155, *а* изображена одна из применяемых схем управления асинхронным электродвигателем с фазным ротором и контактными кольцами, предусматривающая автоматизированный пуск электродвигателя, изменение направления вращения и регулирование скорости вращения электродвигателя путем изменения величины сопротивления в

цепи ротора, а также электрическое торможение электродвигателя противовключением, т. е. в зависимости от тока и времени.

Управление пуском электродвигателя производится по принципу независимой выдержки времени. Выведение отдельных ступеней пусковых сопротивлений происходит через определенные промежутки времени, после включения электродвигателя. В рассматриваемой схеме применены маятниковые реле време-



Контакты	Назад 5	4	3	2	1	0	Вперед 1	2	3	4	5
1						×					
2							×	×	×	×	×
3	×	×	×	×	×						
4	×	×	×	×				×	×	×	×
5	×	×	×						×	×	×
6	×	×								×	×
7	×										×

Рис. 155. Схема управления асинхронным электродвигателем с фазным ротором и контактными кольцами:
а — схема управления, *б* — диаграмма контроллера

ни (рис. 338), назначение которых см. в главе 7, § 7. Эти реле пристроены к контакторам ускорения, предназначенным для переключения ступеней пускового сопротивления. Управление торможением электродвигателя производится в зависимости от тока ротора при помощи особого электромагнитного реле РПВ, катушка которого включена в цепь ротора электродвигателя. Управление электродвигателем производится посредством командоконтроллера [1]. Перемещение рукоятки из нулевого положения (0) влечет за собой пуск электродвигателя «вперед» (положение *В*) и «назад» (положение *Н*) и дает возможность изменять направление вращения. Командоконтроллер, как это видно из его диаграммы (рис. 155, *б*), имеет пять положений для каждого из направлений вращения электродвигателя [2],

[1] Контакты командоконтроллера (*К*) обозначаются цифрами 1, 2, 3, 4, 5, 6 и 7.

[2] Диаграмма показывает, какие контакты замыкаются при изменении положения контроллера. В положении «0» замыкаются контакты 1, в положении «1» вперед замыкаются контакты 2, в положении «2» вперед замыкаются контакты 2 и 4 и т. д.

Схема управления работает следующим образом. При включении выключателя *В* подается напряжение на катушку реле напряжения *РН*. При перемещении рукоятки командоконтроллера из нулевого положения размыкаются контакты *К1* командоконтроллера, замкнутые в нулевом положении. Однако катушка реле напряжения *РН*, обеспечивающего защиту электродвигателя от снижения напряжения и самопроизвольного повторного пуска при последующем повышении напряжения, остается включенной через цепь самопитания, независимую от командоконтроллера и осуществляемую при помощи нормально открытого контакта реле *РН*. При установке рукоятки командоконтроллера в положение *1* «вперед» получает питание катушка контактора *КВ*, так как контакты (*К*) контроллера *2* замыкаются в цепи питания этой катушки.

Электродвигатель *Д* присоединяется к питающей сети через полное сопротивление в фазах ротора, осуществляя определенное направление вращения.

Замыкание нормально открытых блок-контактов контактора *КВ* в цепи управления влечет за собой получение питания катушкой блокировочного реле *РБ*. При этом замыкаются нормально открытые контакты *РБ*, установленные для последующей правильной работы схемы при изменении направления вращения электродвигателя.

При включении электродвигателя получает питание катушка реле противовключения *РПВ*, нормально закрытые контакты которого, однако, не размыкаются, так как ток срабатывания этого реле устанавливается выше пускового.

При переводе рукоятки командоконтроллера в положение *2* «вперед» замыкаются контакты *К4* и катушка контактора *КТ* получает питание, причем нормально открытые контакты *КТ* замыкаются в цепи ротора электродвигателя, выводя автоматически первую ступень пускового сопротивления *1r*, являющуюся одновременно и ступенью противовключения.

При дальнейшей установке командоконтроллера в положение *3—4—5* «вперед» последовательно замыкаются контакты *К5*, *К6* и *К7* и получают питание катушки контакторов ускорения *1У*, *2У* и *3У*, которые соответственно шунтируют ступени сопротивления 2*r*, 3*r* и 4*r* с выдержкой времени, обеспечиваемой маятниковыми реле времени, нормально открытые контакты которых установлены в цепи питания контакторов ускорения *1У*, *2У* и *3У*.

Пусковой процесс электродвигателя в направлении назад происходит аналогично, причем включаются контактор *КН*, а затем контакторы *КТ*, *1У*, *2У* и *3У* через контакты командоконтроллера *К3*, *К4*, *К5*, *К6* и *К7*.

Изменение направления вращения электродвигателя осуще-

ствляется переводом рукоятки командоконтроллера из положения *В* «вперед» в положение *Н* «назад». В нулевом положении командоконтроллера отключена вся аппаратура схемы. Переход в положение «назад» влечет за собой включение электродвигателя *Д* через контактор *КН* с переключением двух фаз обмотки статора. Переход электродвигателя в режим противовключения сопровождается возрастанием тока ротора по сравнению с номинальным, так как электродвигатель вращается в противоположном направлении. При этом направление вращения поля будет противоположно направлению вращения ротора.

При увеличении тока ротора в режиме противовключения выше пускового нормально закрытый контакт *РПВ* размыкается, препятствуя преждевременному включению контактора *КТ* и выведению сопротивления *1r*. До срабатывания этого контакта не замыкается также и нормально открытый контакт *РБ*, так как собственное время его включения больше собственного времени отключения реле *РПВ* и катушка контактора *КТ* не получает питания непосредственно вслед за включением контактора *КН*.

После уменьшения тока в роторе до величины тока переключения происходит включение контакторов ускорения и реле времени, последовательность работы которых рассмотрена выше для работы электродвигателя в направлении «вперед».

В схеме предусмотрена защита цепей главного и оперативного тока от коротких замыканий с помощью максимальных реле *1РМ* и *2РМ* и предохранителей *П*; максимальные реле отключают электродвигатель от сети при возрастании тока нагрузки, от величины которого не зависит выдержка времени маятниковых реле.

Защита электродвигателей от длительной тепловой перегрузки осуществляется посредством тепловых реле *РТ*.

Нулевая защита электродвигателя от самопроизвольных его включений после понижения или снятия напряжения в сети осуществляется установкой реле минимального напряжения *РН*.

В схеме предусмотрены блокировки: а) для исключения одновременной работы контакторов *КВ* и *КН* установкой нормально закрытых блок-контактов в цепи управления; б) для предотвращения преждевременного включения контактора *КТ* при реверсе электродвигателя благодаря установке нормально открытого контакта блокировочного реле *РБ*; в) для повторного включения и работы схемы только при установке командоконтроллера в нулевое положение, когда все аппараты приводятся в исходное положение (нулевая блокировка). Изучив таким образом схему, наладчик приступает к ее проверке, а также проверке правильности работы ее элементов. Рекомендуется произвести проверку сопротивлений ступеней в цепи ротора, так как

не исключены возможные ошибки при расчетах в проектной документации или ошибки, которые явились следствием недостаточно внимательной проверки документации после ее размножения. После проверки всех расчетных материалов и установления соответствия произведенных измерений сопротивлений в цепи ротора проектным данным можно приступить к настройке реле ускорения (*1У, 2У* и *3У*) на заданные уставки.

Для проверки уставок времени реле ускорения *РУ* пользуются пружинным секундомером или электрическим (рис. 12).

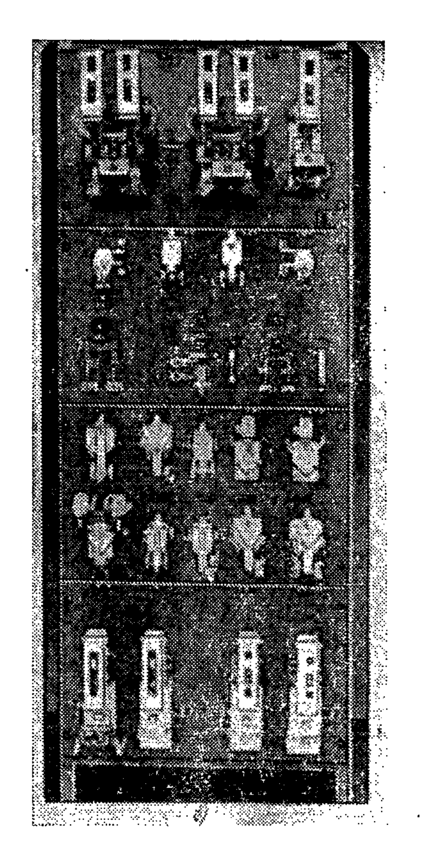
Обычно наладчик с достаточной точностью измеряет выдержки времени пружинным секундомером, начиная от 1 *сек* и выше, что достигается соответствующей практикой. Рекомендуется иметь секундомер с двумя фиксирующими стрелками, циферблат которого разбит на 100 делений, т. е. каждое деление равно 0,01 *мин*, или 0,6 *сек*. Измерение уставки во времени для каждого реле следует производить не менее трех раз, а затем взять среднее арифметическое из трех измерений, которые заносятся в соответствующий протокол наладки. Настройка реле РЭ-100, РЭ-180 и РЭ-190 (рис. 153, 339) на заданную уставку производится, как было сказано выше, при помощи натяжения пружины и регулирования толщины немагнитной прокладки.

В схемах, работающих в зависимости от величины тока, регулирование реле на расчетный ток втягивания производится затягиванием или освобождением пружины при помощи винта, который обычно находится в нижней части реле; регулированием величины зазора при помощи переднего винта — на ток втягивания якоря и при помощи заднего винта — на ток отпадания якоря. В схемах автоматизированного пуска асинхронного электродвигателя с фазным ротором четкая работа реле ускорения обеспечивает правильный контроль в зависимости от тока.

Проверка схемы управления электропривода с асинхронным многоскоростным электродвигателем производится аналогично наладке схемы с асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором. Однако, чтобы убедиться в правильном выполнении схемы переключения полюсов, следует при опробовании схемы в целом измерить при помощи тахометра числа оборотов электродвигателя на каждой ступени и сравнить их с паспортными данными электродвигателя.

Станции управления. Комплект контакторов, реле времени, токового реле и других аппаратов, смонтированных на одной панели, называется станцией управления или магнитной станцией. Станции управления могут быть установлены или непосредственно у механизма (в шкафах), или на некотором расстоянии от него в специальных помещениях. Станции управления соединяются соответствующей электропроводкой с силовыми

4отв
Ф11
750
630
60
25
450
500
а)



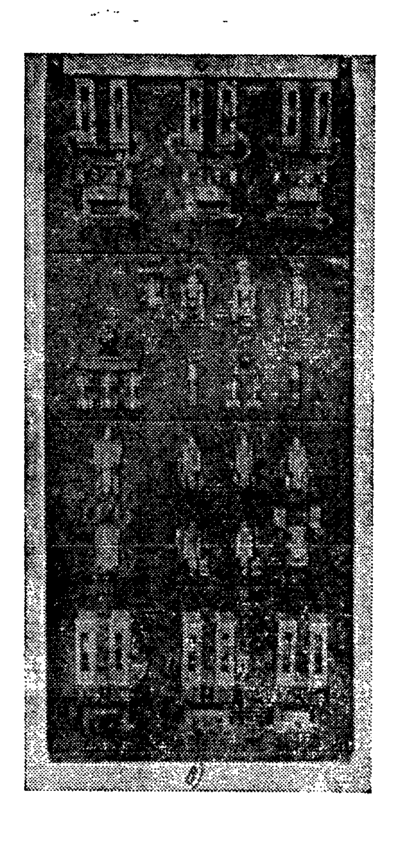


Рис. 156. Общие виды станций управления:
а — асинхронными короткозамкнутыми электродвигателями, *б* — асинхронными электродвигателями с фазным ротором, *в* — электродвигателями постоянного тока

электроприемниками и постами управления. На рис. 156 приведены наиболее часто применяемые станции управления, выпускаемые нашей промышленностью.

Станции управления асинхронными электродвигателями выпускаются заводами как для электродвигателей низкого напряжения, так и для электродвигателей высокого напряжения. Станции управления выполняются с аппаратурой управления на переменном токе, аппаратурой управления на постоянном токе или на выпрямленном токе при помощи твердых выпрямителей. Некоторые серии станций управления имеют два оперативных напряжения: питание от переменного тока или через выпрямитель. Изготовляются станции управления на разное количество пусковых ступеней; после проверки всех цепей и аппаратуры станции они должны быть настроены на определенный режим работы, который задан проектом, т. е. должны обеспечить предусмотренную проектом пусковую характеристику электропривода.

§ 14. НАЛАДКА ЭЛЕКТРОПРИВОДА С СИНХРОННЫМИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ

Общие сведения. В настоящее время во всех новых электроустановках находят широкое применение синхронные электродвигатели высокого и низкого напряжения в качестве приводов для преобразовательных агрегатов и механизмов (насосов, компрессоров, газодувок, дробилок и т. д.). Синхронные электродвигатели являются весьма экономичными источниками реактивной мощности. Помимо этого основными достоинствами синхронных электродвигателей являются в ряде случаев меньшие его размеры и более высокий коэффициент полезного действия на 1÷3%, по сравнению с асинхронными двигателями той же мощности, меньшая чувствительность к колебаниям напряжения в сети, так как момент синхронного электродвигателя при постоянном возбуждении пропорционален первой степени напряжения, в то время как момент асинхронного электродвигателя пропорционален квадрату подведенного напряжения.

Однако наравне с преимуществами синхронные электродвигатели имеют и ряд недостатков: во-первых, ограниченное применение синхронных электродвигателей для механизмов с ударной нагрузкой; во-вторых, при моменте сопротивления механизма более 40% номинального момента электродвигателя применяются сравнительно сложные и недостаточно надежные схемы пуска.

В существующих схемах пуска синхронных электродвигателей непосредственно от сети (рис. 157, *а*), через реактор

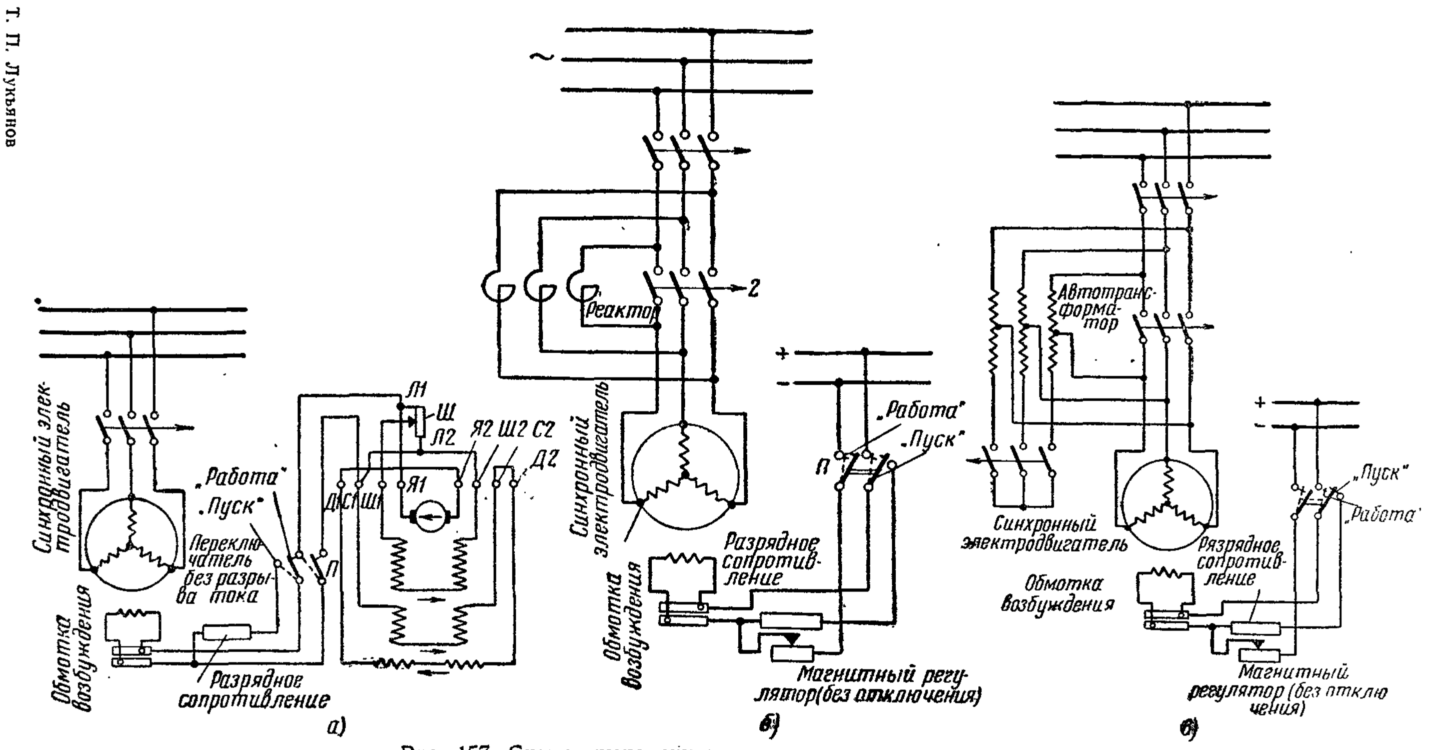


Рис. 157. Схема пуска синхронного электродвигателя:

а — с возбудителем на валу непосредственно от сети, *б* — посредством реактора при независимом возбуждении, *в* — посредством автотрансформатора при независимом возбуждении

(рис. 157, *б*) или через автотрансформатор (рис. 157, *в*) процесс пуска происходит следующим образом. При прямом пуске подается полное напряжение сети и по достижении электродвигателем подсинхронной скорости включается возбуждение, после чего происходит синхронизация электродвигателя. При реакторном или автотрансформаторном пуске процесс пуска состоит из трех периодов: включение электродвигателя на пониженное напряжение и разгона его до подсинхронной скорости, подачи возбуждения и включения электродвигателя на полное напряжение при так называемом легком пуске. При схеме тяжелого пуска для приводов со значительной нагрузкой подача возбуждения и синхронизация электродвигателя осуществляется при полном напряжении, так как при пониженном напряжении он может не достигнуть требуемой подсинхронной скорости.

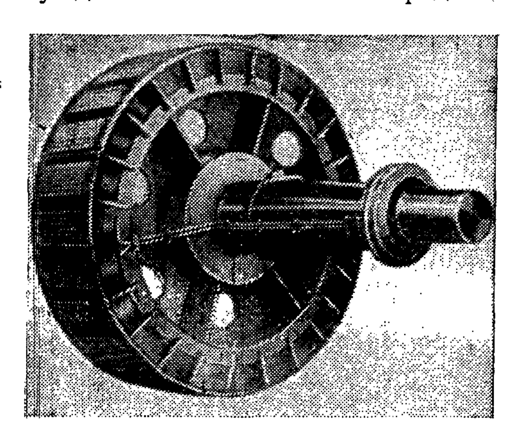


Рис. 158. Внешний вид ротора тихоходного синхронного электродвигателя

В настоящее время все более внедряется в промышленном электроприводе упрощенный способ пуска синхронных электродвигателей — пуска с глухоприсоединенным возбуждением. Схема такого пуска весьма проста и мало чем отличается от схемы пуска асинхронного электродвигателя, если не считать наличия возбудителя. Однако при любой схеме пуска разгон синхронного электродвигателя до подсинхронной скорости осуществляется асинхронным запуском. Другими словами, асинхронный пуск является в настоящее время основным методом пуска синхронных электродвигателей.

Основными параметрами, определяющими выбор способа асинхронного пуска синхронного электродвигателя, являются: а) величина понижения напряжения сети при пуске; б) пусковой момент, необходимый для разворота электродвигателя с приводным механизмом. В момент разгона синхронный электродвигатель работает, как асинхронный.

Ротор синхронного электродвигателя имеет две обмотки: первая обмотка для асинхронного пуска укладывается в полюсных наконечниках у электродвигателей с явно выраженными полюсами или в бочке ротора у электродвигателей с неявно выраженными полюсами; вторая обмотка предназначена для возбуждения электродвигателя. Короткозамкнутая пусковая обмот-

ка (клетка) для асинхронного пуска рассчитана только на кратковременный режим работы, поэтому не разрешается работа синхронного электродвигателя в асинхронном режиме в течение длительного времени; схема пуска ограничивает это время специальным реле контроля пуска. Исполнение пусковых обмоток синхронного электродвигателя различно для разных типов машин, следовательно различна и зависимость вращающего асинхронного момента от скорости вращения ротора. Следует иметь в виду, что нагрев обмоток не зависит от схемы пуска (прямой, авто-

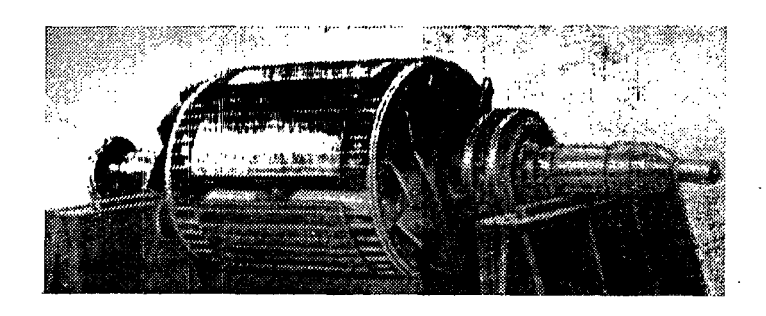


Рис. 159. Внешний вид ротора быстроходного синхронного электродвигателя

трансформаторный, реакторный), он зависит только от маховой массы привода и момента сопротивления механизма; чем больше маховая масса привода и момент сопротивления механизма, тем больше будет нагрев пусковых обмоток синхронного электродвигателя. На рис. 158 показан внешний вид ротора тихоходного синхронного электродвигателя, а на рис. 159 — внешний вид ротора быстроходного электродвигателя.

При пуске синхронного электродвигателя обмотку возбуждения закорачивают на активное сопротивление, называемое разрядным сопротивлением. После первого включения электродвигателя и последующих пробных пусков необходимо проверять температуру всех элементов разрядного сопротивления. Из-за неплотной затяжки контактных соединений во время пуска электродвигателя возможно появление недопустимо повышенной температуры; в последующем эти контакты могут полностью разрушиться и выгореть, создав разрыв в цепи ротора.

Контроль подачи возбуждения в момент достижения электродвигателем подсинхронной скорости осуществляется в зависимости от времени разгона электродвигателя, тока статора и частоты тока ротора. Для синхронных электродвигателей с моментом сопротивлений механизма менее 40% номинального мо-

мента электродвигателя рекомендуется применять схему с глухим присоединением возбудителя; в остальных случаях подача возбуждения осуществляется в зависимости от времени или тока.

Возбуждение синхронного электродвигателя может осуществляться как от отдельного возбудительного агрегата, состоящего из генератора постоянного тока и приводного асинхронного электродвигателя, так и от генератора постоянного тока, который жестко соединен с валом синхронного электродвигателя.

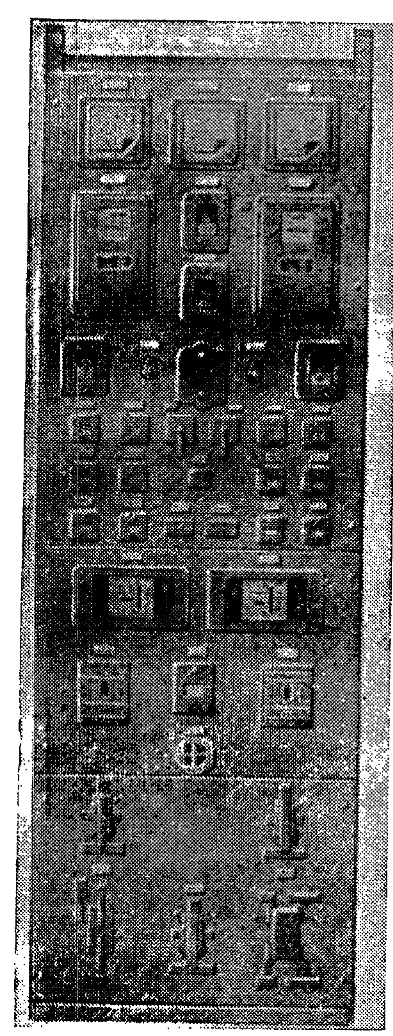


Рис. 160. Общий вид станции управления синхронным электродвигателем

В целях упрощения схем пуска разработана единая нормаль на станции управления и защиты для синхронных электродвигателей высокого и низкого напряжения, которые в настоящее время выпускаются заводами электропромышленности; общий вид такой станции управления синхронным электродвигателем приведен на рис. 160. В качестве основного способа пуска предусмотрен прямой асинхронный пуск синхронных электродвигателей от полного напряжения сети.

Для тех случаев, когда по значениям параметров питающей сети или электродвигателя прямой пуск недопустим, может быть применен пуск от пониженного напряжения через реактор или автотрансформатор для двигателей высокого напряжения и через активное сопротивление в статоре для низковольтных электродвигателей. При прямом пуске и при моменте сопротивления нагрузки на валу электродвигателя, не превышающем 40% номинального, рекомендуется глухое присоединение возбудителя к обмотке ротора электродвигателя. Это включение может применяться и при больших

моментах сопротивления нагрузки на валу электродвигателя, если заводом-изготовителем подтверждается возможность пуска по такой схеме.

Если по соотношению моментов электродвигателя и нагрузки пуск с глухоприсоединенным возбудителем не может быть осуществлен, то возбудитель присоединяется к обмотке через сопротивление.

Для крупных ответственных синхронных электродвигателей, имеющих защиту от внутренних повреждений и применяемых для приводов с длительным выбегом, может применяться схема с гашением поля на разрядное сопротивление. В этом сопротивлении гасится энергия магнитного поля электродвигателя при остановках и при действии защиты.

Пуск синхронного двигателя, а также его остановка производятся одним командным импульсом, воздействующим на линейный выключатель или контактор. Импульс может быть подан ключом со станции управления, командоаппаратом со щита или с поста управления, установленного вне станции, либо каким-нибудь автоматическим реле или устройством.

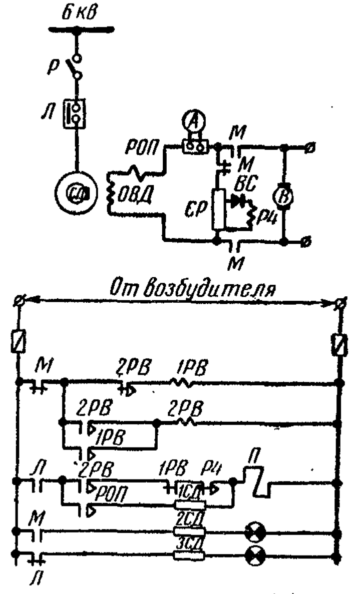


Рис. 161. Схема управления синхронным электродвигателем с подачей возбуждения в зависимости от частоты:

Р — разъединитель, *Л* — масляный выключатель, *РОП* — реле ослабленного поля для защиты от потери возбуждения, *1РВ*, *2РВ* — реле времени, *СР* — разрядное сопротивление обмотки возбуждения, *ВС* — селеновый выпрямитель, *РЧ* — реле частоты, *1СД*, *2СД* и *3СД* — сопротивления в цепи управления, *ОВД* — обмотка возбуждения двигателя, *М* — контактор возбуждения

Схема пуска синхронного электродвигателя с подачей возбуждения в зависимости от частоты тока ротора. Присоединение высоковольтного синхронного электродвигателя к сети осуществляется с помощью разъединителя *Р* и масляного выключателя *Л*, включаемого дистанционно или вручную; напряжение подается на статор *СД*.

Принципиальная схема управления синхронным электродвигателем показана на рис. 161. На роторе электродвигателя расположена пусковая обмотка для асинхронного запуска и обмотка возбуждения, присоединяемая к возбудителю *В* через контактор возбуждения *М*. Управление контактором *М* осуществляется через цепь управления, а управление отключающей катушки выключателя *Л* — через цепь отключения.

Схемы включения синхронных электродвигателей низкого напряжения мало чем отличаются от схем включения электродвигателей высокого напряжения, поэтому методы наладки этих схем аналогичны.

Наладка схемы синхронного электродвигателя ведется по той же методике, которая была приведена выше в параграфе 13 этой главы. На основании принципиальных и монтажных схем и с помощью других вспомогательных чертежей устанавливается соответствие схемы проекту. Производятся все необходимые измерения и испытания: сопротивления изоляции, сопротивления обмоток машин; проверяется релейно-контакторная аппаратура, маркировка вторичных цепей и пр. После детальной проверки всех элементов схемы она проверяется по цепочкам; устанавливается их соответствие и согласованность и работа аппаратуры всей схемы в целом. Пробный пуск, а тем более работа электродвигателя без налаженной защиты запрещается.

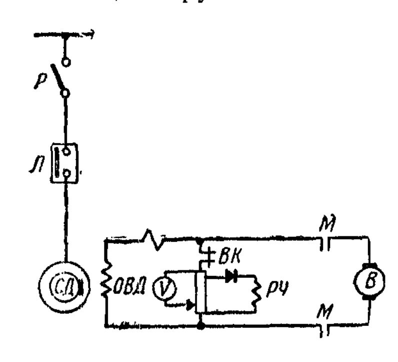


Рис. 162. Схема проверки реле частоты

Узел синхронизации является наиболее сложным участком схемы. Убедиться в правильной работе реле частоты *РЧ* и в том, что точка присоединения реле выбрана правильно, можно окончательно при пуске электродвигателя. Для проверки правильной работы реле *РЧ* собирается схема, приведенная на рис. 162. Для этого необходимо под нормально закрытый (н. з.) блок-контакт реле *РЧ* (рис. 161), который осуществляет при замыкании включение катушки контактора, подающего возбуждение, подложить изоляционную прокладку (заизолировать лентой), чтобы в случае ошибочного срабатывания реле *РЧ* контактор не включился. Вольтметр постоянного тока, присоединяемый, как показано на рис. 162, желательно иметь со шкалой на 30—50 *в* с нулем посредине.

Реле *РЧ* присоединяется к выбранной точке разрядного сопротивления через выпрямитель *ВК*. Следовательно, переменный ток переменной частоты проходит через катушку реле *РЧ* только в одном направлении. В период подсинхронной скорости, когда скольжение составит 2—5%, в течение первой половины секунды выпрямитель пропустит через катушку реле одну полуволну, во вторую половину секунды — ток через катушку не пройдет и реле *РЧ* не получит питания. Выдержка времени реле настраивается на время менее 0,5 *сек*, следовательно реле отпустит якорь и своим н. з. контактом включит катушку кон-

тактора в цепи возбуждения (при отсутствии изоляции блок-контактов). В период опробования работы реле *РЧ* при подсинхронной скорости вольтметр, присоединенный к разрядному сопротивлению, один раз отклонится в одну сторону (0,5 *сек*), второй раз — в противоположную. Правильно настроенное реле *РЧ* должно отпустить якорь (замкнуть все контакты) в период перехода вольтметра через нуль.

При пробном толчке синхронного электродвигателя проверяется работа *РЧ* (без подачи возбуждения в связи с изоляцией контакта реле); после двух-трех опробований с соответствующими перерывами между ними, так как асинхронный режим синхронного электродвигателя ограничен по времени, обычно удается скорректировать точку присоединения реле *РЧ* к разрядному сопротивлению и добиться четкой работы реле.

Схема пуска синхронного электродвигателя в зависимости от времени или тока. При применении схемы пуска в зависимости от времени подача возбуждения контролируется специальными реле. При включении масляного выключателя блок-контакт привода выключателя включает на напряжение катушку реле времени, нормально открытый (н. о.) контакт которого замыкается с выдержкой времени. По истечении времени, достаточного для достижения электродвигателем подсинхронной скорости, реле времени замыкает свой н. о. контакт в цепи катушки контактора подачи возбуждения; контактор включается и подает возбуждение электродвигателю.

Аналогично выполняется контроль подачи возбуждения в зависимости от тока статора. Реле контроля подачи возбуждения можно настроить так, чтобы оно при снижении пускового тока статора до определенной величины, соответствующей подсинхронной скорости, разрешало непосредственно или через промежуточное реле включаться контактору подачи возбуждения.

Схема включения в зависимости от времени более проста. Однако при наладке не всегда бывает известно время разгона электропривода, а уставку по времени в проекте в большинстве случаев не указывают; настраивать реле времени с запасом не рекомендуется, ибо, как указывалось выше, в период асинхронного разгона электродвигателя короткозамкнутая (пусковая) обмотка сильно перегревается, поэтому запас по времени следует сделать минимальным. Чтобы выбрать при наладке уставку времени или уточнить проектную уставку, можно воспользоваться методом вольтметра и секундомера (рис. 162). При включении электродвигателя необходимо пустить секундомер и в момент, когда вольтметр в течение секунды отклонится по одному разу в обе стороны, что свидетельствует о достижении подсинхронной скорости, остановить секундомер и зафикси-

ровать время дважды: при холостом ходе механизма и при нагрузке.

Схема пуска с глухим присоединением возбудителя. Схема осуществляется двумя способами: а) присоединением возбудителя к обмотке возбуждения через добавочное сопротивление с последующим закорачиванием сопротивления и подачей полного возбуждения; б) непосредственным присоединением возбудителя к обмотке возбуждения (рис. 163).

Возбудитель, как указывалось выше, может быть отдельно стоящим, или соединенным с валом синхронного электродвигателя. В первом случае необходимо проверить выполнение блокировки возбудительного агрегата со схемой пуска синхронного электродвигателя, учитывая, что первым должен пускаться синхронный электродвигатель, а затем возбудительный агрегат. Обратный вариант пуска недопустим, так как включение возбужденного синхронного электродвигателя в сеть приведет к тяжелой аварии.

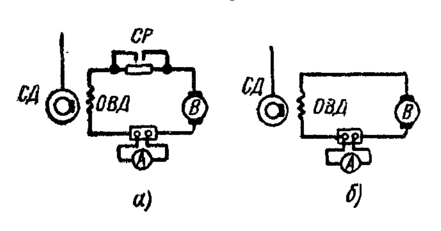


Рис. 163. Принципиальная схема присоединения возбудителя:
а — через добавочное сопротивление, *б* — непосредственно

В схемах с глухим присоединением возбудителя, выполненных по рис. 163, *б*, обмотка возбуждения закорочена только на активное сопротивление обмотки якоря возбудителя. С ростом момента сопротивления механизма влияние обмотки возбуждения, закороченной на малое активное сопротивление, начинает сильно сказываться как на времени разгона, так и на возможности завершения разгона и втягивания в синхронизм. Это следует учитывать при наладке приводов. Например, неправильно выполненная затяжка подшипников может сильно увеличить статический момент привода и синхронный электродвигатель не втянется в синхронизм.

На рис. 164 приведены упрощенные принципиальные схемы пуска и защиты синхронного электродвигателя: с глухим присоединением обмотки ротора на якорь возбудителя, когда обмотка присоединена через разрядное сопротивление *СР*, равное 10-кратному сопротивлению обмотки ротора, и когда обмотка *СД* замкнута на *СР* и в цепь якоря последовательно включено реле обрыва поля *РНТ*.

Реостат возбуждения возбудителя находится в положении, соответствующем рабочему возбуждению. Пуск асинхронного электродвигателя агрегата возбуждения осуществляется магнитным пускателем, блок-контакты которого подготавливают

цепь на включение синхронного электродвигателя или включают его.

К моменту достижения синхронным электродвигателем подсинхронной скорости напряжение на возбудителе поднимается до рабочего и двигатель входит в синхронизм. Схема обеспечивает автоматическое включение форсировки возбуждения при снижении напряжения в питающей цепи до величины 0,75—80% номинальной и отключение форсировки при восстановлении напряжения в сети до величины 0,88÷0,94% номинального значения. При отключении синхронного электродвигателя от сети схема обеспечивает автоматическое отключение возбуждения.

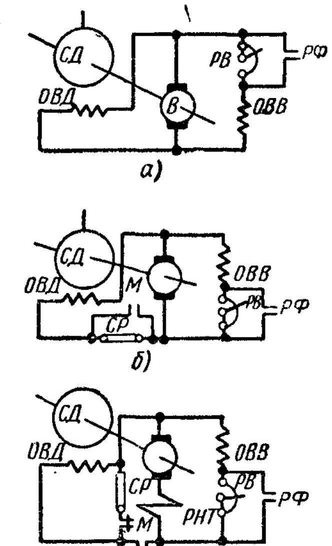


Рис. 164. Принципиальные схемы пуска и защиты синхронного двигателя:

а — глухое присоединение обмотки ротора *СД* на якорь возбудителя, *б* — обмотка ротора *СД* замкнута на якорь возбудителя через разрядное сопротивление *СР*, *в* — обмотка ротора *СД* замкнута через разрядное сопротивление, в цепь якоря последовательно включено реле обрыва поля *РНТ*, *ОВД* — обмотка возбуждения синхронного электродвигателя (обмотка ротора), *ОВВ* — обмотка возбуждения возбудителя, *В* — возбудитель, *РФ* — реле форсировки возбуждения, *РВ* — реостат возбуждения

В цепи возбуждения схемы с глухим присоединением возбудителя должен устанавливаться амперметр для контроля за вхождением машины в синхронизм по току возбуждения. Вхождение в синхронизм можно также определить и путем измерения числа оборотов электродвигателя при помощи тахометра.

Описанные схемы пуска синхронных электродвигателей относятся в основном к приводам с относительно равномерной нагрузкой. Однако синхронные электродвигатели применяются и для механизмов с ударной нагрузкой, которая колеблется от холостого хода и до величин значительно выше номинальной.

Поскольку изменение нагрузки синхронного электродвигателя при неизменном токе возбуждения вызывает значительные колебания реактивной мощности и напряжения сети, то в этом случае схема управления электродвигателем должна предусматривать при изменении нагрузки изменение величины тока возбуждения для целей увеличения перегрузочной способности синхронного электродвигателя и предотвращения выпадания его из синхронизма.

Определение кратности пускового тока и напряжения на неподвижном роторе проводится при наладке высоковольтных

синхронных электродвигателей путем подведения к статору пониженного напряжения. Выводы заторможенного ротора присоединяются к пусковому разрядному сопротивлению или возбудителю, как предусматривается схемой управления. Измеряются напряжения на статоре $U'_{ст}$, токи $I'_{ст}$ во всех его фазах и напряжение на выводах ротора $U'_{рот}$.

По результатам измерений при пониженном напряжении $U'_{ст}$ подсчитываются пусковой ток $I_{пуск}$ и напряжение $U_{рот}$ на разрядном сопротивлении $R_{раз}$ (если ротор не закорочен), соответствующие условиям нормального пуска. В дальнейшем эти данные используются при настройке аппаратуры пуска и защиты.

Пусковой ток и напряжение на роторе примерно пропорциональны подводимому к статору напряжению, и пересчет ведется по линейной зависимости:

$$I_{пуск} = \frac{U_{пуск}}{U'_{ст}} I'_{ст}; \quad U_{рот} = \frac{U_{пуск}}{U'_{ст}} U'_{рот},$$

где $U_{пуск}$ — напряжение, подаваемое на статор в момент включения (при прямом пуске $U_{пуск} = U_{ном}$).

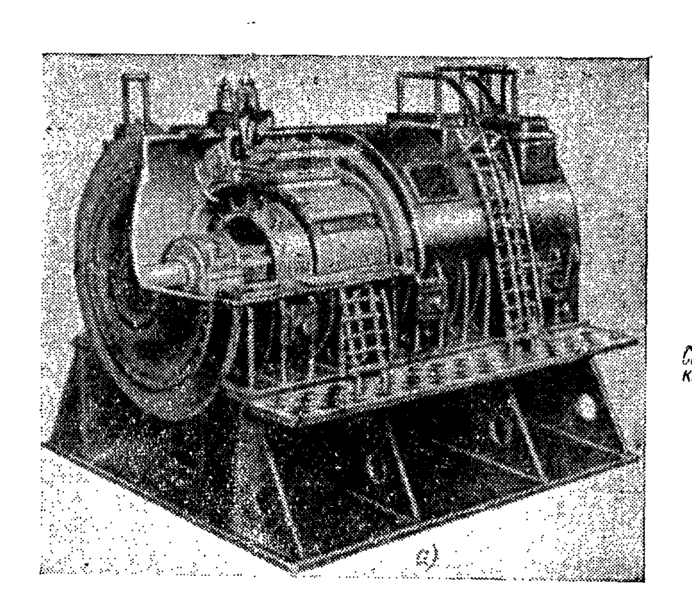
Чередование фаз питающего напряжения, соответствующее необходимому направлению вращения, определяется с помощью фазоуказателя.

Для работы в качестве источников реактивной мощности и улучшения коэффициента мощности сети и регулирования ее напряжения при частоте 50 *гц* служат синхронные компенсаторы. Ниже, в качестве примера, приведен синхронный компенсатор КСВ-75 000-11 (рис. 165) с водородным охлаждением, мощностью 75 000 *квар*, при скорости вращения 750 *об/мин*. Нормально для пуска таких синхронных компенсаторов применяется схема реакторного пуска с напряжением, пониженным до 45% номинального напряжения сети.

Для пуска компенсаторов от сети применена продольно-поперечная короткозамкнутая демпферная обмотка, которая расположена в башмаках полюсов ротора. При пуске обмотка возбуждения ротора компенсатора должна быть замкнута на разрядное сопротивление. Внешний вид и принципиальная схема реакторного пуска компенсатора приведены на рис. 165, *а* и *б*.

§ 15. НАЛАДКА МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

Наладка машин постоянного тока производится примерно по той же методике, что и для машин переменного тока, описанной в § 13 настоящей главы. При внешнем осмотре машины обращается внимание на правильность ее вращения согласно стрел-



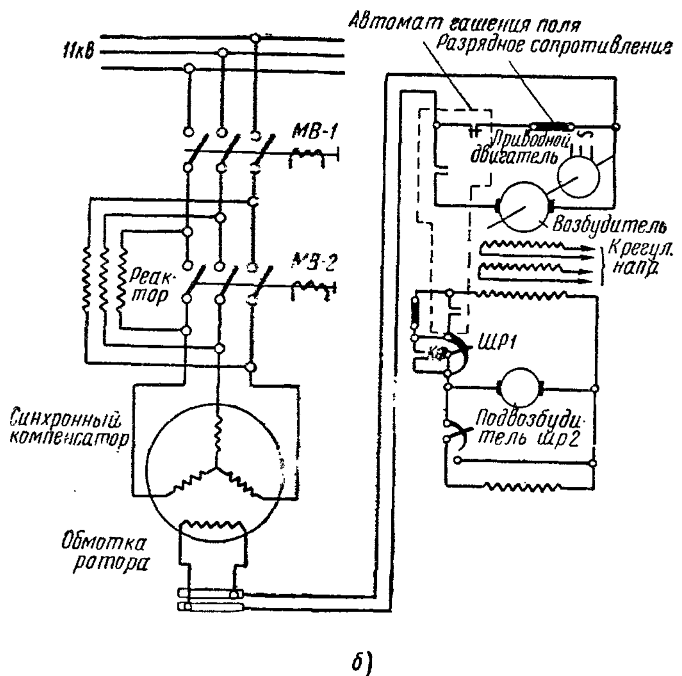


Рис. 165. Синхронный компенсатор КСВ-75 000:

а — внешний вид, *б* — принципиальная схема пуска; *МВ-1* и *МВ-2* — выключатели, *ШР-1* и *ШР-2* — шунтовые реостаты, *КФ* — контактор форсировки возбуждения

ке на корпусе, если есть обозначение и машина имеет только одно определенное вращение; на закрепление машины на основании; проверяется свободное вращение машины поворотом якоря машины от руки, при помощи лома или крана (если это электродвигатель, то он должен быть отсоединен от механизма). Обращается особое внимание на наличие смазки в подшипниках и т. д.

Особенности измерения сопротивления обмоток машин постоянному току. В дополнение к сказанному по этому вопросу в § 5 настоящей главы необходимо обратить внимание на следующее.

В заводских формулах обычно указывается сопротивление, измеренное между коллекторными пластинами. Современные машины могут иметь различные схемы обмоток и дробное число коллекторных пластин на полюс. Измерение сопротивления якоря малых и средних машин следует производить при поднятых щетках; в крупных машинах щетки можно не поднимать, так как параллельные соединения, создаваемые ими, мало влияют на результаты измерения.

Небольшие машины постоянного тока мощностью до 2—3 *квт* и тахогенераторы изготовляются обычно с петлевыми обмотками без уравнительных соединений. Для измерения сопротивления якоря такой машины требуется поднять щетки и подвести щупы от измерительной схемы, например, вольтметра и амперметра или двойного моста (рис. 1, *а* — *г*; 45, 96) к противостоящим по диаметру пластинам коллектора.

Пример. Число пластин 80, тогда измерение производится между 1 и 41-й пластинами. При нечетном числе пластин — 81 измерение производится между 1 и 41-й или 1 и 42-й пластинами. Полученный результат в два раза превосходит сопротивление якоря:

$$R_я = \frac{R_я'}{2p},$$

где $2p$ — число полюсов машины.

Для измерения сопротивления якоря крупной или средней машины расстояние (шаг) по коллектору в пластинах N_p, на котором требуется подвести щупы от измерительной схемы, определяется путем деления числа коллекторных пластин N на число полюсов $2p$.

Примеры:

а) $N=420$, $2p=6$, обмотка петлевая

$$N_p = \frac{N}{2p} + 1 = \frac{420}{6} + 1 = 71;$$

б) $N=125$, $2p=4$, обмотка волновая

$$N_р = \frac{125}{4} + 1 = 32{,}25,$$

принимается $N_р = 32$;

в) $N=360$, $2p=6$, обмотка волновая двухходовая

$$N_р = \frac{360}{6} + 1 = 61.$$

Так как обмотка двухходовая, то $N_р$ увеличивается на одно деление и $N = 62$.

Во многих случаях достаточно определить сопротивление якоря приближенно, причем полученная величина может быть проверена по заводским данным. Для такого измерения не требуется поднимать щетки, рассчитывать шаг $N_р$ по коллектору, выяснять схему обмотки и т. п. Щупы измерительной схемы прикладываются к коллектору у сбегающих краев щеток смежных траверс. Если полученный результат измерения не совпадает с заводскими данными, следует повторить измерение, смещая щуп на одну пластину в обе стороны. Пределы допустимых отклонений измеренной величины сопротивления обмотки якоря от каталожных данных или формуляра заводских испытаний не нормируются и определяются путем анализа в каждом конкретном случае. Обычно расхождение данных измерений является следствием неточности измерений или влияния температуры.

Для расчета режимов управления приводом иногда требуются данные полного сопротивления цепи якоря совместно со щетками, дополнительными полюсами и другими последовательными обмотками. Искомое сопротивление приближенно может быть получено путем измерения методом амперметра-вольтметра (присоединяемых на выводах якорной цепи) при равномерном проворачивании якоря.

В ряде случаев при отыскании повреждений якорной цепи или проверке правильности пайки обмоток во время ремонта требуется произвести измерение сопротивления между каждой парой соседних пластин коллектора. Такие измерения следует производить с помощью микроомметра М-246 или методом вольтметра (милливольтметра) — амперметра. Для удобства рекомендуется изготовить специальные двойные щупы с пружинами в изоляционной рукоятке. При измерении щупы перемещаются по окружности коллектора (рис. 96).

Для проверки машин среднего габарита, легко проворачиваемых вручную, удобно пользоваться вышеуказанными щупами, приспособленными для установки в обойму щеткодержателя. Перед каждым измерением якорь проворачивается на одну коллекторную пластину.

Пуск машины постоянного тока и проверка правильности установки щеток в нейтральное положение. Перед пуском машины необходимо обратить особое внимание на состояние поверхности коллектора, так как это определяет коммутационные качества электрической машины.

На щеточном аппарате должны быть в наличии все пружины, прижимающие щетки к коллектору; не должно быть изломов и искривлений щеточного аппарата. Каждую щетку необходимо вынуть из гнезда и осмотреть состояние ее поверхности. На ней не должно быть выбоин, сколов и прочих повреждений; поверхность, прилегающая к коллектору, должна быть зеркальной, площадь зеркала должна быть не менее $^2/_3$ всей поверхно-

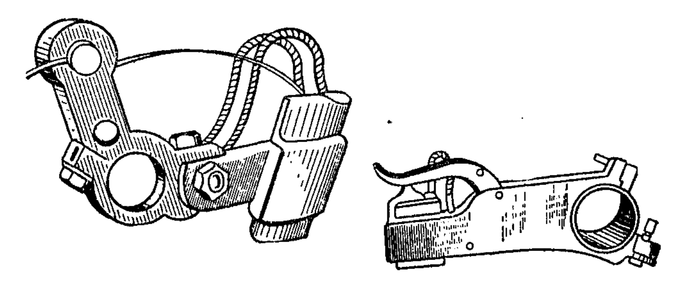


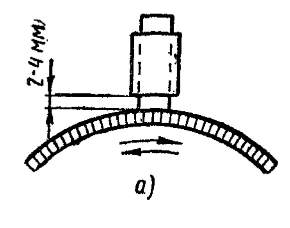
Рис. 166. Внешний вид щеткодержателей

сти. Гибкие медные поводки щеток, при помощи которых щетка присоединяется к щеточной траверсе, не должны иметь обрывов волосков. Внешний вид щеткодержателя показан на рис. 166.

Надлежит проверить, соответствуют ли марка, размеры и количество щеток требованиям чертежа или техническим условиям завода-изготовителя; достаточно ли свободно сидят щетки в обоймах щеткодержателей (но не с чрезмерной слабиной); дают ли щеткодержатели равномерный нажим (не слишком большой и не слишком малый). В сомнительных случаях производится проверка нажима способом, описанным ниже.

В собранной машине щетки не должны свешиваться за край коллектора или контактных колец ни при каком положении вращающейся части; поэтому в любом случае расстояние щетки от края должно быть не меньше величины допустимого осевого разбега вала. Равным образом между петушками обмотки якоря и ближайшими к ним щеткодержателями должно быть расстояние, достаточное для того, чтобы при вращении якоря не только петушки не могли задевать за щеткодержатели, но и не могло произойти перекрытия между ними по воздуху. То же самое относится к бандажным кольцам на коллекторах особо быстроходных машин (например, возбудителей паротурбинных генераторов).

Следует также проверить, хорошо ли закреплены щеткодержатели на траверсе; сама траверса должна плотно и без качаний сидеть в своем гнезде, когда затянуты ее стопорные приспособления. При этом между нижними краями обойм щеткодержателей и поверхностью коллектора или контактных колец должно быть предписанное заводом расстояние, обычно от 2 до 4 *мм*. Это видно из рис. 167, *а*, где показана правильная установка радиального щеткодержателя.



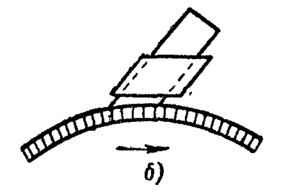


Рис. 167. Правильная установка щеткодержателей:

а — радиального щеткодержателя для реверсивных машин, *б* — реактивного щеткодержателя

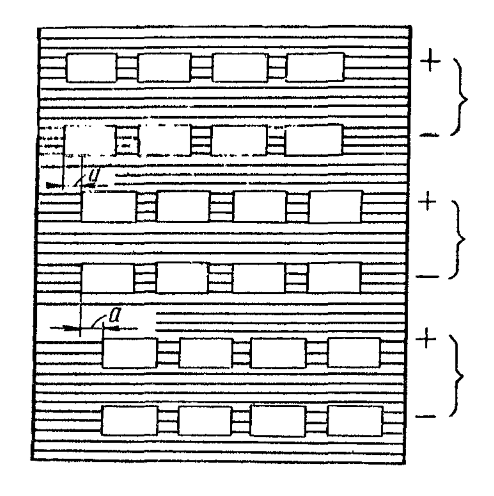


Рис. 168. Правильное расположение щеток на коллекторе шестиполюсной машины

Если на коллекторе машины постоянного тока стоят только два пальца со щетками, то расстояния от края коллектора до щеток на обоих пальцах должны быть одинаковы, т. е. щетки обоих пальцев должны стоять точно на одних и тех же дорожках; если же число пальцев больше двух, то на каждой следующей паре щетки должны перекрывать промежутки между щетками предыдущей пары.

Установка щеткодержателей, наклонных к вертикали под углом 30—40°, зависит от направления вращения якоря. При правильной установке острый край щетки направлен против направления вращения (рис. 167, *б*), так как этот край является набегающим, а при неправильной установке — по направлению вращения. Правильное расположение щеток на коллекторе изображено на рис. 168. Перекрытие *а* следует выбирать с таким расчетом, чтобы щетки работали по всей поверхности коллектора.

Далее проверяется правильность расстановки щеток по окружности коллектора, для чего коллектор оборачивается бумажной лентой, на которой острым карандашом точно отмечаются положения сбегающих краев щеток. После этого лента снимается с коллектора и при помощи масштабной линейки производится измерение расстояний между каждыми двумя соседними отметками. Разность между наибольшим и наименьшим из измеренных расстояний может быть допущена в пределах 1%, но не более 2 *мм.*

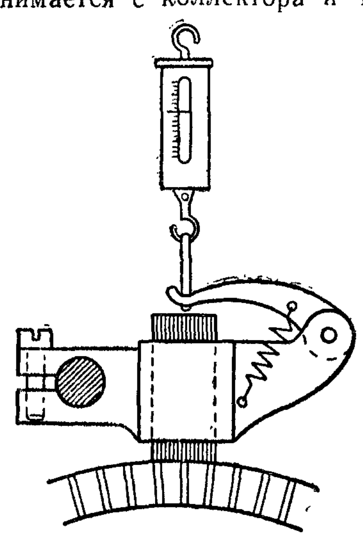


Рис. 169. Проверка динамометром величины нажатия щетки на коллектор

Хорошо притертые щетки, имеющие нормальное зеркало, при хорошем состоянии коллектора после кратковременной работы машины оставляют на поверхности коллектора слабый след в виде черточек, проходящих через всю поверхность коллекторной пластины. Если эти черточки прерывистые, захватывают только часть поверхности пластины коллектора, то это значит, что щетки плохо притерты, нажатие их ненормальное, либо поверхность коллекторных пластин неровная.

Давление на щетку, создаваемое пружиной щеткодержателя, должно соответствовать определенному удельному давлению, зависящему от марки и размеров щетки; разность давлений на отдельные щетки не должна превышать 10% среднего его значения. Нормальное удельное давление щеток на коллектор принимается в среднем от 150 до 250 *г/см²*. Проверка величины нажатия щеток на коллектор производится динамометром (рис. 196), закрепленным за рычажок щеткодержателя, прижимающий щетку к коллектору. Величина давления может быть определена, если между щеткой и коллектором проложить лист бумаги и производить постепенное натяжение динамометра; показание динамометра, при котором бумага может быть легко изъята, и будет соответствовать давлению щетки на коллектор. Такая проверка степени нажатия пружины щеткодержателя производится также и по мере износа щеток.

После проведения указанной проверки и выполнения монтажным персоналом (в случае необходимости) требуемой регулировки щетки устанавливаются на электрическую нейтраль.

Установка щеток на электрическую нейтраль. Для получения безыскровой коммутации прежде всего необходимы правильная установка щеток, полюсов и содержание коллектора в надлежащем состоянии, о чем было сказано выше.

Кроме того, у нереверсивных машин при отсутствии дополнительных полюсов или слабой силе их поля щетки сдвигаются с нейтрали пока не будет достигнута безыскровая коммутация: у электродвигателя — против направления вращения, у генераторов — по направлению вращения якоря; при большой силе поля дополнительных полюсов щетки сдвигаются с нейтрали в обратном направлении. У реверсивных электродвигателей щетки должны находиться строго по нейтрали.

Под нейтральным положением щеток в машинах постоянного тока понимается такое положение их, при котором э. д. с. ненагруженного якоря достигает при прочих равных условиях наибольшей величины.

Точное расположение щеток по нейтрали определяет оптимальные параметры машин: электродвигатели имеют максимальный момент, генераторы — максимальное напряжение; реакция якоря минимальная; щетки закорачивают секции обмотки, расположенные вне поля главных полюсов, что необходимо для получения безискровой коммутации.

Проверка положения щеток относительно нейтрали может быть произведена различными способами: индуктивным методом; по наименьшей скорости электродвигателя; по наибольшему напряжению генератора; методом самовозбуждения от остаточного магнетизма при коротком замыкании.

Наиболее удобен при наладке индуктивный метод, дающий возможность определить нейтраль при неподвижной машине с наибольшей точностью.

Проверка установки щеток в нейтральное положение индуктивным методом. Проверка этим методом заключается в следующем (рис. 170). При неподвижном якоре машины, после предварительной пришлифовки щеток к коллектору, к щеткам присоединяется чувствительный магнитоэлектрический прибор с нулем посредине шкалы. Траверсу устанавливают предварительно в таком положении, чтобы линия щеток находилась примерно против середины главных полюсов (имеются в виду обычные обмотки с симметричными лобовыми частями). Обмотку возбуждения (шунтовую обмотку главных полюсов) отключают, к ней через реостат от аккумуляторной батареи подводят постоянный ток напряжением 6—24 *в*. Величина тока в обмотке не должна превышать примерно 5—10% номинального, что важно для предотвращения пробоя изоляции обмотки токами размыкания. К зажимам

якоря, как сказано выше, присоединяют магнитоэлектрический гальванометр G или милливольтметр (последний с пределами измерения от 45 до 75 *мв* и с добавочным сопротивлением). Практика наладочных работ показывает, что для этих целей удобнее применять, если он имеется, магнитоэлектрический гальванометр.

Затем в обмотку главных полюсов (обмотку возбуждения) подается импульсами (с помощью рубильника P) питание от постороннего источника постоянного тока (рис. 170). В связи с этим в обмотке якоря индуктируется э. д. с. трансформации, и

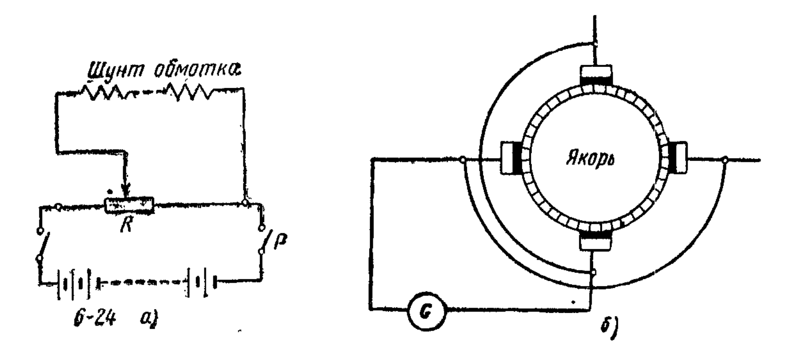


Рис. 170. Схема проверки установки щеток в нейтральное положение:

а — схема присоединения аккумуляторной батареи к шунтовой обмотке, *б* — схема присоединения гальванометра к зажимам якоря

стрелка гальванометра G отклоняется в ту или другую сторону в зависимости от положения щеток. При щетках, находящихся в нейтральном положении, э. д. с. должна быть практически равна нулю и прибор не должен давать отклонений.

Всякое одностороннее смещение щеток с нейтрального положения вызывает отклонение стрелки прибора в ту или другую сторону в зависимости от того, включается или отключается рубильник, и тем сильнее, чем больше смещены щетки от нейтрального положения. Отклонение стрелки прибора происходит отчетливее в момент отключения рубильника, при котором оно и учитывается. Направление этих отклонений зависит от того, в какую сторону смещены щетки.

Проверка производится следующим образом. При закрепленной щеточной траверсе (при положении щеток примерно против середины главных полюсов) определяется направление отклонения стрелки прибора и запоминается величина отклонения. Затем щеточная траверса передвигается в какую-нибудь сторону и снова определяется направление и величина откло-

нения стрелки прибора. Если направление отклонения не изменилось, а величина его стала меньше, следует продолжать перемещение щеточной траверсы в том же направлении до тех пор, пока отклонение стрелки прибора не прекратится. Если же направление отклонения изменилось на обратное, то щеточная траверса слишком передвинута и надо ее осторожно передвигать в обратную сторону.

Нейтральное положение щеток может считаться найденным только тогда, когда стрелка прибора не будет давать отклонений при окончательно закрепленной траверсе и любом положении коллектора.

Однако найденное нейтральное положение щеток нельзя считать окончательным; после хорошей приработки их контактной поверхности оно должно быть еще раз проверено таким же способом, и только после этого найденное нейтральное положение щеток должно быть отмечено риской заметного цвета.

Перед началом испытания милливольтметр (если он применяется) должен быть включен с добавочным сопротивлением. По мере перемещения траверсы и уменьшения отклонений прибора постепенно уменьшаются и его пределы измерений. В случае, если при установлении траверсы на нейтраль потребуется проворачивать якорь машины, то рекомендуется размыкать цепь измерительного прибора во избежание его повреждений за счет э. д. с. от остаточного намагничивания машины. Если машина может быть пущена в ход, то правильность установки траверсы можно проверить при работе вхолостую или в качестве генератора, или в качестве двигателя. При работе машины в качестве генератора и неизменном сопротивлении в цепи обмотки возбуждения и неизменной скорости вращения напряжение на зажимах якоря будет наибольшим при положении щеток на нейтрали. Если машина работает в качестве двигателя, то при положении щеток на нейтрали скорость вращения будет одинакова при обоих направлениях вращения электродвигателя (вперед и назад) при одинаковом напряжении и одинаковом потоке возбуждения.

Щетки должны быть притерты (пришлифованы) к поверхности коллектора или контактных колец. Существует много способов шлифования щеток, каждый из которых имеет свою преимущественную область применения.

Простейший способ, применяемый главным образом в небольших машинах, состоит в продергивании бумаги или полотна под опущенными щетками (рис. 171); при этом рекомендуется производить продергивание только в направлении вращения машины (если оно является определенным), не давая соскакивать щеткам с бумаги или полотна, так как при этом подрезаются края щеток. Обратное перемещение бумаги производится при поднятых щетках. Необходимо следить за тем, что-

бы бумага или полотно плотно прижимались к поверхности коллектора или колец на участке, значительно большем, чем занятый притираемыми щетками, так как в противном случае края щеток будут подрезаться.

Достоинством этого способа является отсутствие опасности повреждения щеток; после нескольких продергиваний можно осмотреть их поверхность и поднять те из них, которые достаточно притерты, продолжая дальше притирать только те щетки, которые в этом еще нуждаются.

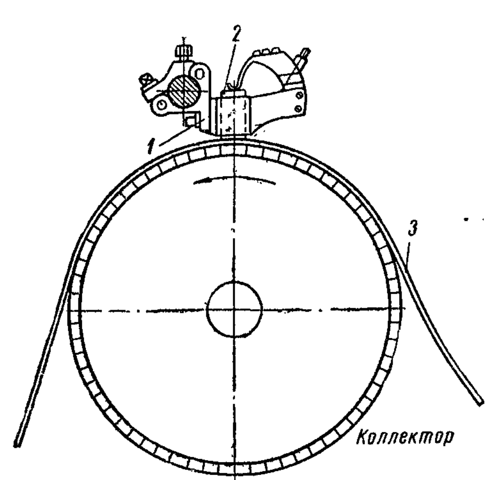


Рис. 171. Способ шлифовки щеток:
1 — щеткодержатель, 2 — щетки, 3 — стеклянная бумага

Недостатки способа заключаются, во-первых, в медленности притирания, во-вторых, в том, что если притирание производится на коллекторе с выбранной изоляцией между пластинами, то эти промежутки отпечатываются на поверхности щеток даже сквозь толщу бумаги или полотна, и приработка щеток на ходу замедляется. Этого можно избежать, если несколько поворачивать коллектор перед каждым новым продергиванием бумаги или полотна, или же если взамен продергивания поворачивать коллектор вместе с прижатой к нему бумагой (рис. 171).

Другой способ, пригодный главным образом для более крупных машин, состоит в том, что коллектор или контактное кольцо обертывается достаточно длинной полосой бумаги или полотна, чтобы ее хватило не только полностью покрыть всю поверхность, но и сделать нахлест примерно на величину расстояния между соседними комплектами щеток; затем вал машины приводится во вращение от руки или иным способом, и щетки быстро притираются. Спустя некоторое время следует осмотреть щетки, поднять те из них, которые уже притерлись, и продолжать притирание остальных, но на каждом пальце при этом должно быть оставлено не менее $^1/_4$ всех щеток, иначе нахлест полосы, проходя под этим пальцем, может ослабеть, и полоса перестанет вращаться.

Определение области безыскровой коммутации. Работа электрических машин постоянного тока при не-

изменном положении щеток должна происходить практически без искрения в режиме от холостого хода до номинальной нагрузки и без опасного искрения и повреждения коллектора или щеток при кратковременных перегрузках. Если плотность тока, т. е. ток, приходящийся на единицу поверхности соприкоcновения щетки с коллектором в каком-либо месте этой поверхности становится слишком большим, материал щетки раскаляется до свечения, появляются маленькие дуговые разряды, которые мы наблюдаем в виде искрения под щеткой на коллекторе.

Искрение на коллекторе — это наиболее часто встречающаяся неисправность машин постоянного тока. Поэтому при осмотре машины надо прежде всего обращать внимание на работу щеток. Сильное искрение под щетками вызывает повреждение поверхности коллектора и повышенный износ щеток. Однако полное отсутствие искрения в машинах постоянного тока не всегда имеет место. При длительной работе машины считается допустимым слабое искрение приблизительно у половины числа всех щеток.

Если происходит значительное искрение у большинства или у всех щеток, то на коллекторе остаются следы нагара. Такое искрение допускается только при кратковременной перегрузке, толчках или изменении направления вращения машины (реверсировании). При усилении искрения необходимо остановить машину и осмотреть поверхность коллектора. Обычно в этих случаях заметны штрихи на пластинах коллектора, которые являются следами подгара. Если их можно удалить тряпкой, смоченной в бензине, то такое искрение считается неопасным и допустимым. В противном случае приходится прибегать к чистке коллектора тонкой стеклянной бумагой способом, изложенным выше.

При определении искрения следует всегда смотреть на щетки по ходу коллектора, а не против хода, так как обычно искрение более заметно под задним краем щетки.

Причинами искрения могут быть: неправильная установка траверсы щеткодержателей, неравномерное расстояние между щетками отдельных пальцев по окружности коллектора, слишком сильное или слишком слабое нажатие на коллектор, неправильный выбор марки щеток, вибрация пальцев щеткодержателей или всей машины, неровная поверхность коллектора, вызывающая биение щеток и т. д.

Кроме того, сильное искрение на коллекторе может наблюдаться при неисправностях обмотки якоря или катушек возбуждения. Например, обрыв одного проводника якоря вызывает сильное искрение на коллекторной пластине, с которой он соединен. Замыкание витков в полюсных катушках также приво-

дит к искрению на коллекторе. Если дополнительные полюса имеют неправильную полярность, то они вызывают усиленное искрение при работе машины под нагрузкой. В зависимости от степени искрения разрушение коллектора или щетки идет быстрее или медленнее.

Наладка цепей блокировки и сигнализации. Наладка цепей блокировки не представляет технической сложности. В основном все сводится к проверке цепей с помощью токоискателя ТИ-2 (рис. 151). Проверка требует от наладчика особого внимания, так как цепи блокировки в зависимости от количества сблокированных электродвигателей и требований технологии имеют связи не только с элементами электротехнической схемы, но и с элементами, указывающими положение механизмов данного технологического потока, т. е. с механическими датчиками, конечными выключателями и другими устройствами.

Наладчику, кроме изучения элементарной схемы цепей блокировки, необходимо совершенно отчетливо представлять технологию производства. Разветвленные вторичные цепи обычно являются источником замыканий на землю. Отыскание места повреждения изоляции или другой причины появления замыканий на землю требует кропотливой проверки вторичных цепей по отдельным участкам, пока не будет обнаружено место повреждения. Учитывая, что наладочные работы производятся параллельно с монтажными и строительными работами, появление замыканий на землю — нередкое явление в период наладки. Только совершенное знание схемы, последовательность в работе с отметкой на принципиальных монтажных схемах всех проверенных участков цепи дают право быть уверенным в том, что при опробовании цепей блокировки в период комплексного опробования механизмов потока схема будет работать в соответствии с требованием проекта и с достаточной надежностью.

Проверка схем сигнализации, как и проверка всех цепей блокировки, производится при помощи токоискателя. Цепи сигнализации также, как и цепи блокировки, являются неотъемлемой частью схемы электропривода. Звуковая и световая сигнализации могут служить как для целей предупреждения перед пуском сблокированных механизмов, так и для целей оповещения об аварийном останове агрегатов и о ходе технологического процесса. Поэтому при наладке цепей сигнализации необходимо обратить внимание не только на правильную работу схемы, что безусловно является основным требованием, но и на качество сигнала. Необходимо отстроить звуковой сигнал (звонок или сирену) так, чтобы звук был чистым. Световой сигнал должен быть ярким. В большинстве случаев сигнальная аппаратура, особенно световая, включается через до-

бавочные сопротивления; плохой контакт или несоответствие величины сопротивления может явиться причиной тусклого или, наоборот, слишком яркого горения лампы или плохого звука.

Добавочные сопротивления часто бывают причиной, вызывающей дефекты в схеме (отсутствие сигнала). При наладке больше внимания уделяется проверке цепей сигнализации и часто обрыв или другой недостаток в добавочных сопротивлениях не привлекает внимания наладчика. Поэтому рекомендуется перед проверкой цепей сигнализации проверить исправность добавочных сопротивлений и непосредственно от источника соответствующего напряжения проверить действие всех элементов и аппаратов сигнализации.

После проверки цепей сигнализации по отдельным цепочкам производится комплексное опробование всей сигнализации искусственным путем, т. е. замыканием механических датчиков, кнопок, ключей управления и пр., при этом проверяется правильность сигналов. Знание технологии производства (в общих чертах) при проверке сигнализации совершенно необходимо, так как в период наладки, и особенно в период комплексного опробования, вновь назначенный эксплуатационный персонал первое свое практическое обучение по управлению схемой электропривода и производственной сигнализации проходит при консультации бригады наладчиков. Это возлагает на наладчиков дополнительную ответственность, так как правильно переданный опыт освоения схемы является залогом успешной безаварийной эксплуатации налаженного объекта.

§ 16. СУШКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Общие сведения. Изоляция обмоток электрических машин может увлажняться при транспортировке, хранении, монтаже и ремонте, а также при длительном останове. Вследствие этого перед пуском должно быть проверено состояние изоляции обмоток машин. Абсолютное значение сопротивления изоляции у машин должно быть не ниже величин, приведенных в табл. 13; у машин напряжением 3 *кв* и выше, кроме того, должен быть определен мегомметром коэффициент абсорбции $K_{аб}$. Если полученные данные указывают на неудовлетворительное состояние изоляции, электрические машины подвергаются сушке.

Удаление влаги из изоляции обмотки машины происходит за счет тепловой диффузии, вызывающей перемещение влаги в направлении потока тепла, от более нагретой части обмотки к более холодной. Перемещение влаги происходит вследствие перепада влажности в разных слоях изоляции; из слоев с большей влажностью влага перемещается в слои с меньшей влажностью. Перепад влажности в свою очередь создается пере-

падом температуры. Чем больше температурный перепад, тем интенсивнее происходит сушка изоляции. Например, нагревая внутренние части обмотки током, можно создать перепад температуры между внутренними и внешними слоями изоляции и тем ускорить процесс сушки.

В соответствии с рекомендациями завода «Электросила» им. С. М. Кирова вновь вводимые в эксплуатацию турбогенераторы, имеющие стержневую обмотку статора с компаундированной изоляцией класса В, можно считать сухими и включать в работу без сушки при выполнении следующих условий: а) если имеется полная уверенность в том, что при хранении, перевозке и монтаже машины не было попадания влаги на обмотку; б) если при температуре 75° сопротивление изоляции обмотки соответствует требуемым нормам; в) если коэффициент абсорбции $K_{аб}$ не менее 1,3.

Сопротивление изоляции обмотки ротора турбогенератора при температуре 75° должно быть не менее 0,5 *Мом.* Если температура обмотки отличается от 75°, то допускается пересчет величины сопротивления изоляции, исходя из снижения сопротивления изоляции в два раза на каждые 18° повышения температуры. Эти практические выводы можно применять для других крупных высоковольтных синхронных машин.

В связи с тем, что порядок сушки машин не регламентируется правилами, на практике машины переменного тока мощностью до 100 *квт* с рабочим напряжением до 380 *в* включают под напряжение без сушки, если сопротивление изоляции обмоток статора и ротора не ниже 0,5 *Мом.* Сушка такой машины происходит в процессе ее работы. В соответствии с инструкцией б. Министерства электростанций синхронные генераторы и компенсаторы, находящиеся в эксплуатации, могут включаться в работу после останова без дополнительной сушки, если абсолютная величина сопротивления изоляции понизилась не более чем на 50% по сравнению с сопротивлением изоляции, измеренным после сушки (при той же температуре). В тех случаях, когда машина имеет лишь небольшое и к тому же поверхностное увлажнение, вызванное остановом, допускается контрольная сушка и подсушка при пониженном напряжении или в режиме частичной нагрузки при достаточно холодной обмотке, но с соблюдением следующих условий: при начальной температуре и в процессе подсушки машины коэффициент абсорбции $K_{аб}$ не должен быть ниже 1,3, а сопротивление изоляции $R_{изм}$ не ниже величины, полученной по приведенной выше формуле. Скорость подъема температуры обмотки во время сушки не должна превышать 4° в час; контрольные измерения сопротивления изоляции и коэффициента абсорбции рекомендуется производить не реже чем через 2 *час.*

Сопротивление изоляции обмоток машин напряжением до 500 *в* измеряется мегомметром на 500 *в*, а обмоток напряжением 500 *в* и выше — на 1000÷2500 *в*. Измерения сопротивления изоляции производятся при температуре обмоток, близкой к рабочей температуре (60÷80°).

Перед сушкой помещение должно быть очищено от мусора, пыли и грязи. Электромашины должны быть тщательно осмотрены, очищены и продуты сухим чистым сжатым воздухом. Кроме того, при сушке машин измеряют температуру обмоток, окружающего воздуха, ток сушки и т. д.

Сопротивление изоляции обмоток электрических машин, снижающееся в первый период сушки, в дальнейшем возра-

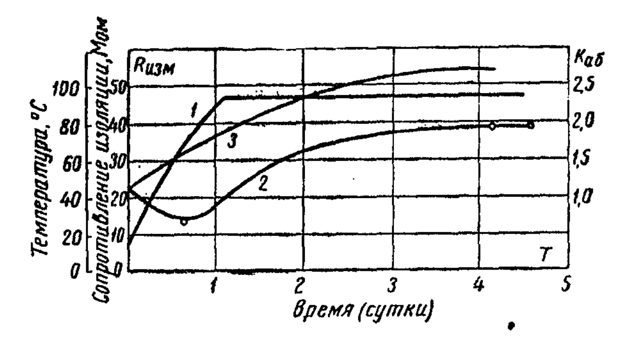


Рис. 172. Кривые зависимости сопротивления изоляции, коэффициента абсорбции и температуры обмотки генераторов от продолжительности сушки:

1 — температура обмотки в градусах, 2 — сопротивление изоляции обмотки, 3 — коэффициент абсорбции

стает и, достигнув некоторой величины, становится постоянной. Сушку прекращают после того, как эта величина сопротивления изоляции будет при постоянной температуре практически неизменной в течение 2—3 *час* и величина $K_{аб}$ будет иметь значение не ниже 1,3. После окончания сушки, а также при остановке во время эксплуатации не допускается понижения температуры машин ниже 3÷4° во избежание отпотевания.

Характер зависимости сопротивления изоляции, коэффициента абсорбции и температуры обмотки генераторов от продолжительности сушки, выполненной методом индукционных потерь в активной стали, можно видеть на рис. 172.

Сушка электрических машин производится монтажным персоналом с участием работников наладочных бригад, которыми выполняются контрольные измерения хода сушки, и на этой основе определяется возможность включения машин в сеть.

Основные способы сушки электрических машин. Сушка электрических машин может производиться на-

ружным (внешним) нагревом, нагреванием током от постороннего источника, током короткого замыкания, вентиляционными потерями, индукционными потерями в активной стали статора или корпусе машины и др.

Способ сушки индукционными потерями является более удобным и экономичным по расходу электроэнергии. В тех случаях, когда одним каким-либо методом не удается получить необходимую температуру сушки, или же, когда нагрев отдельных частей получается неравномерным, применяют комбинированный метод сушки, представляющий сочетание двух каких-либо методов. Выбор метода сушки зависит главным образом от местных условий, имеющихся возможностей и в некоторых случаях от степени увлажненности изоляции.

Наиболее интенсивной сушкой сильно увлажненных обмоток является сушка током, при которой внутренние слои изоляции нагреваются сильнее наружных. Однако следует иметь в виду, что сушка током, пропускаемым по обмотке с сильно увлажненной изоляцией, может привести к вспучиванию последней, а сушка такой обмотки постоянным током может оказать и электролитическое действие на изоляцию обмотки. Вследствие этого в подобных случаях сушку рекомендуется производить другими способами, например индукционными потерями в активной стали, способом наружного обогрева и т. д. Предварительно проводя сушку машины этими способами, можно приступить к сушке обмоток электрическим током.

Перед сушкой током необходимо проверить все контактные части, а если эта сушка производится на вращающейся машине, то и зазоры между ротором (якорем) и статором (полюсами) и в подшипниках. Корпус машины до начала сушки должен быть надежно заземлен путем присоединения голого гибкого медного провода сечением не менее 25 *мм*^{2} к общему контуру заземления.

Во время сушки машину необходимо вентилировать. Следует также периодически проворачивать на 90° ротор машины во избежание прогиба вала. Однако слишком сильная вентиляция препятствует нагреванию обмоток до необходимой температуры. Во избежание потери тепла машины закрываются брезентом, палатками, но при этом должна быть обеспечена вентиляция для удаления влаги; фундаментные ямы должны быть перекрыты щитами. В машинах закрытого типа следует закрыть смотровые люки (в станине, в щитах и т. п.).

Во время сушки температуру обмоток и активной стали измеряют термометрами, установленными в нескольких местах (рис. 173).

Термометры должны быть надежно укреплены, положение их во время сушки не должно меняться. В машинах с замкнутой или проточной вентиляцией термометры устанавливают

также на входящем и выходящем воздухе. Если внутри машины заложены температурные детекторы, то необходимо ими пользоваться вместо термометров. Температуру обмоток можно определить также по методу измерения сопротивления (см. гл. 1, § 4).

Во время сушки наивысшая допустимая температура обмотки в наиболее горячем месте не должна превышать 85—90°, а температура выходящего воздуха у машин с приточной вентиляцией или с замкнутой системой вентиляции — 65°. Нагревание не должно происходить слишком быстро, иначе температура внутренних частей машины легко может достигнуть опасной величины, в то время как нагрев наружных частей и выходящего воздуха будет еще незначительным.

Кроме того, при слишком быстром нагревании машины может произойти повреждение изоляции обмотки и механическое повреждение станин, роторов и т. д., потому что постоянные времени нагрева и коэффициент линейного расширения стали и обмотки, а также конструктивных частей машины не одинаковы. Образующийся внутри обмотки пар может оказать вредное влияние на изоляцию обмоток.

Рис. 173. Установка термометра при сушке машины:
1 — обмотка, 2 — шарик термометра, 3 — станиоль, 4 — вата

Таким образом, общий или местный перегрев может настолько повредить изоляцию обмоток, что значительно сократится срок службы машины. Наоборот, правильной сушкой можно привести в исправное состояние сильно отсыревшие машины и даже машины, которые продолжительное время были залиты водой. Если указанная выше температура (85—90°) не может быть достигнута, сушка может производиться и при несколько пониженной температуре. При этом процесс сушки соответственно удлиняется.

При сушке любым способом следует температуру повышать постепенно, ступенями, чтобы на каждой ступени достигалась вполне установившаяся температура обмоток во избежание значительных внутренних нагревов. Только после того, как температура обмоток установилась, можно производить дальнейшее увеличение тока.

Например, при сушке крупных машин, турбогенераторов и электродвигателей прокатных станов скорость нагрева должна быть такой, чтобы температура 50° (по термометру) обмотки и стали или температура выходящего воздуха 40° была достигнута не ранее 20—30 *час* с момента начала сушки, а наивысшая температура — не раньше 40—50 *час.*

До начала сушки необходимо измерить сопротивление изо-

ляции; во время сушки измерения следует производить, как сказано выше, не реже чем через 2—3 *час*, но наблюдение за температурой должно быть постоянное, чтобы не была превышена максимально допустимая температура. По окончании сушки также необходимо измерять сопротивление изоляции и температуру машины до полного ее охлаждения через каждые 30—60 *мин*. Если сушка производится током, то на время измерения изоляции машина должна быть обесточена. Необходимо обратить внимание на хорошую изоляцию проводов, применяемых при измерении, так как при плохой изоляции результат будет ошибочным.

Сушку можно считать законченной, если в течение нескольких часов (3—5)сопротивление изоляции и коэффициент $K_{аб}$ остаются постоянными и если величины их не ниже минимально допустимых. При снятии последнего участка кривой следует брать точки, по возможности при одинаковой температуре машины.

Наименьшее сопротивление изоляции, при котором машина может быть включена в сеть, составляет при температуре, близкой к рабочей, 1 *Мом* на 1 *кв* номинального напряжения, но не ниже 0,5 *Мом*. Общая продолжительность сушки крупных машин составляет примерно 3÷4 суток и больше, в зависимости от состояния изоляции, температуры и влажности окружающей среды. Установившуюся величину сопротивления изоляции, а также $K_{аб}$ заносят в протокол, в котором записываются номинальные данные электромашины и место ее установки, способ сушки, схема и электрические параметры сушки (напряжение, ток), данные вспомогательного оборудования и результаты измерения температуры, а также сопротивление изоляции.

Если машина не поддастся сушке, т. е. если не будет достигнуто наименьшее допустимое сопротивление изоляции, следует сушку прекратить, дать машине охладиться до температуры на 5—10° выше окружающей среды и повторить сушку. Ни в коем случае нельзя считать сушку машины законченной, если после некоторого времени сушка была прервана, а ее сопротивление изоляции в холодном состоянии оказалось удовлетворительным, так как в горячем состоянии сопротивление изоляции может оказаться ниже допустимого. После окончания сушки машину следует остановить, удалить термометры, временно установленные измерительные приборы и пр., осмотреть обмотку, контактные кольца (коллектор, щетки).

Сушка машин наружным обогревом. Этот способ сушки может быть применен для всех машин. Для обдувания обмоток нагретым воздухом у машин закрытого, герметического и взрывозащищенного исполнений следует снимать щиты. Для нагревания наряду с лампами накаливания и ин-

фракрасными лампами применяются электрические калориферы и закрытые печи (открытые печи или жаровни применять не рекомендуется, так как они опасны в пожарном отношении). Инфракрасные лампы имеют пониженный световой поток и увеличенное тепловыделение.

Источники нагревания должны помещаться возможно ближе к машине или внутри ее. Необходимо следить за тем, чтобы близко находящиеся к источнику нагревания части машины не нагревались выше 90° (в случае необходимости следует проложить асбестовые щиты). При этом способе сушки температура может быть доведена до 90° по термометру, но следует избегать местных перегревов внутри машины.

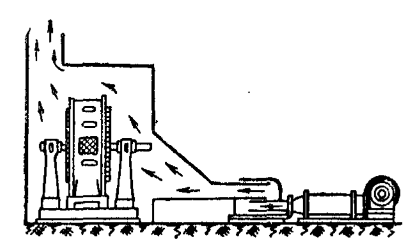


Рис. 174. Сушка машины воздуходувкой

Хорошие результаты сушки получаются при обдувании машины нагретым воздухом с помощью воздуходувки (рис. 174). При этом воздуходувка должна быть установлена так, чтобы нагретый воздух обдувал всю обмотку, а не только часть машины. Для достижения равномерного обдувания всей обмотки следует время от времени переставлять воздуходувку. При работе с воздуходувкой необходимо следить за тем, чтобы искры от нагревателей не попали в машину. Поэтому нагреватели должны быть выбраны так, чтобы они работали без чрезмерного накала. Сушка наружным обогревом может применяться в качестве самостоятельного способа или совместно с другими способами, рассматриваемыми ниже.

Для сушки небольших электрических машин можно пользоваться сушильными печами, шкафами или камерами с вентиляцией для отвода влажного воздуха. При сушке в печи машину необходимо разобрать и сушить статор и ротор отдельно.

Комбинированный способ сушки машин. Если невозможно получить необходимую для сушки величину тока или невозможно достигнуть необходимой температуры при внешнем нагревании, во многих случаях получают хорошие результаты при одновременной сушке током и наружным обогревом. Так как при таком способе сушки трудно с достаточной точностью измерить фактическую температуру обмотки, последняя не должна превышать 70° по термометру. Температура входящего воздуха при применении воздуходувки не должна превышать 90°.

Сушка обмоток электрических машин способом индукционных потерь в стали. В послед-

ние годы внедрены рациональные способы сушки электрических машин индукционными потерями в стали статора при неподвижных машинах, не связанные с прохождением тока непосредственно в обмотках машин. Этот способ применяют довольно широко, и лишь в случае невозможности его применения сушку машин производят другими, указанными выше способами.

Нагрев машины осуществляется потерями на перемагничивание и вихревые токи в активной стали статора машины переменного тока или индуктора машины постоянного тока от создаваемого в машинах переменного магнитного потока в сер-

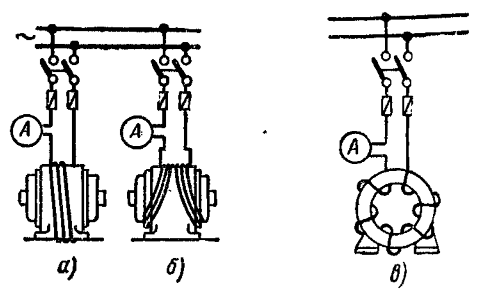


Рис. 175. Сушка электрических машин способом индукционных потерь в стали:

а — индукционными потерями в корпусе, *б* — индукционными потерями в корпусе и в подшипниковых щитах, *в* — индукционными потерями в корпусе и в активной стали статора

дечнике статора и в корпусе машины. Переменный магнитный поток создается специальной намагничивающей обмоткой, наматываемой на корпус машины по наружной поверхности его с протягиванием проводников под станину (рис. 175, *а*), или на корпус и подшипниковые щиты (рис. 175, *б*), переменный магнитный поток может быть также создан индукционными потерями в активной стали статора и корпусе электрической машины (рис. 175, *в*). Ротор асинхронной машины должен быть вынут для возможности намотки на статор намагничивающих витков.

Намагничивающая обмотка выполняется изолированным проводом, сечение и количество витков определяются расчетом. Применение освинцованного или бронированного кабеля запрещается; располагать намагничивающую обмотку по всей окружности статора не следует, так как она может быть расположена в одном месте. При сушке потерями в стали необходимо тщательно проверить, нет ли каких-либо металлических

предметов в расточке статора или индуктора. Наличие последних вызывает замыкание стали статора и ее повреждение.

При отсутствии провода необходимого сечения намагничивающая обмотка может быть выполнена из нескольких параллельных ветвей. От витков намагничивающей обмотки делаются отпайки, соответствующие различным величинам индукции. Это позволяет регулировать индукцию в стали статора, а следовательно, тепловой режим во время сушки, ие изменяя величины напряжения, подводимого к намагничивающей обмотке. На выходе, а также внутри статора провода намагничивающей обмотки должны дополнительно изолироваться от стали прокладками из изоляционного материала (электрокартон или асбест).

В ряде случаев нагревание машины достигается за счет потерь в корпусе статора от намагничивающей обмотки, наматываемой на корпус и питаемой однофазным переменным током.

Для измерения тока последовательно с намагничивающей обмоткой включается амперметр непосредственно или через трансформатор тока. Вольтметр и обмотка напряжения ваттметра присоединяются к концам намагничивающей обмотки.

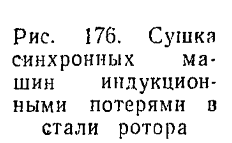


Рис. 176. Сушка синхронных машин индукционными потерями в стали ротора

Нагрузка на провода выбирается равной 0,5÷0,7 предельно допустимых нагрузок, учитывая, что в расточке статора температура при сушке машин индукционным способом, измеренная методом термосопротивления или с помощью термопары, не должна превышать у статора машины переменного тока и индуктора машины постоянного тока 85÷90°, у ротора и якоря 65÷70°, у бандажей якоря 100°.

Этим способом сушат машины средней и большой мощности, у которых можно изолировать вал, а также все машины со щитовыми подшипниками и синхронные машины. При сушке электрических машин потерями в стали ротора в обмотку статора машины включается трехфазный ток пониженного напряжения (2÷3% $U_{ном}$). Обмотка ротора машины замыкается накоротко (рис. 176). Регулировка температуры производится периодически включениями и отключениями.

Сушка турбогенератора (синхронного компенсатора) в неподвижном состоянии может производиться как со вставленным ротором, так и без него. В первом случае для создания переменного магнитного потока специальная намагничивающая обмотка, состоящая из двух витков, наматывается вдоль статора через его расточку (рис. 177, *а*), во втором случае в качестве витка намагничивающей обмотки может быть ис-

пользован вал ротора (рис. 177, *б*), а для надежности присоединения подводящих проводов от источника напряжения применяются специальные бандажи из фольги или другого проводящего материала, плотно облегающего вал ротора в месте

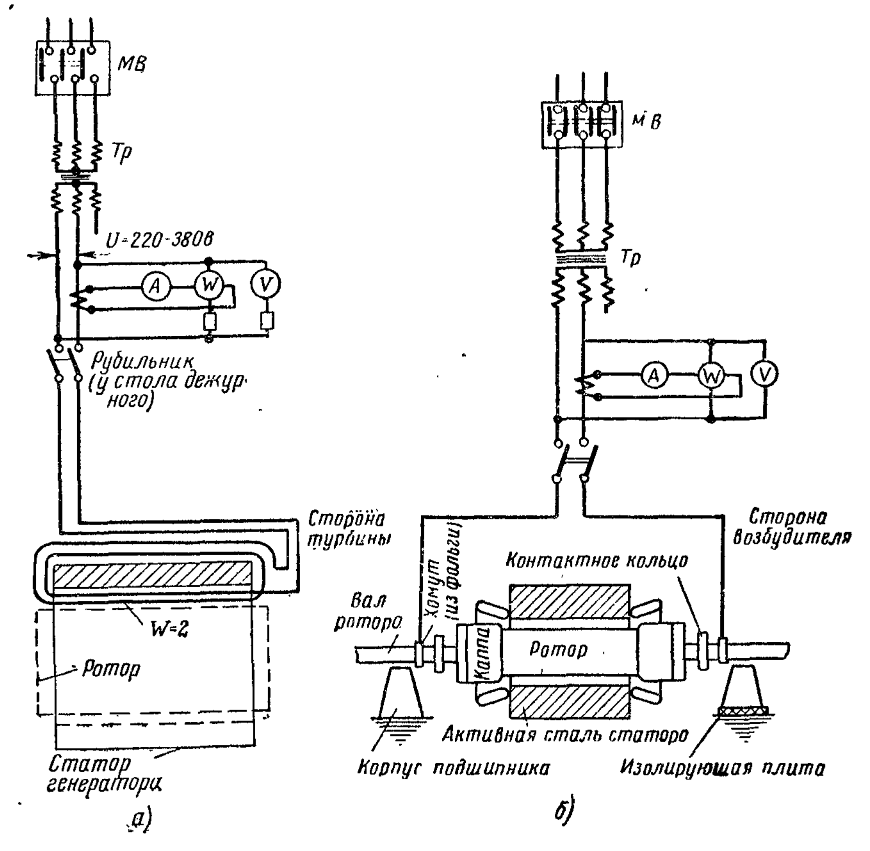


Рис. 177. Электрическая схема сушки турбогенератора индукционными потерями:

а — с помощью намагничивающей обмотки, намотанной на статор, *б* — при использовании вала ротора в качестве намагничивающей обмотки

присоединения. Питание намагничивающего витка производится от отдельного трансформатора, так как один конец ротора заземлен (рис. 177, *б*).

Измерения сопротивления изоляции обмотки статора во время сушки могут производиться без снятия напряжения с намагничивающей обмотки, так как создаваемый ею магнитный поток, направленный по окружности активной стали статора, наводит взаимно компенсируемые э. д. с. в отдельных витках

обмотки статора. При сушке генератора с вставленным ротором, если контактные кольца расположены по разным сторонам бочки ротора, в обмотке ротора будет наводиться напряжение одного витка, в связи с чем измерять сопротивление изоляции обмотки ротора можно, только предварительно сняв напряжение с намагничивающей обмотки или закоротив обмотку ротора.

Магнитный поток, создаваемый намагничивающей обмоткой при сушке со вставленным ротором, будет наводить вдоль бочки ротора э. д. с. одного витка. Во избежание короткого замыкания необходимо изолировать один конец ротора от корпуса (земли); для этой цели можно использовать изоляцию подшипников. Кроме того, должна быть устранена возможность замыкания на ротор лабиринтовых уплотнений в торцовых крышках при закрытом генераторе. Во время сушки необходимо контролировать состояние изоляции вала ротора при помощи вольтметра, включенного между валом и корпусом (землей). В связи с тем что э. д. с. вдоль ротора в отдельных случаях может достигать величин, при которых недопустимо прикосновение обслуживающего персонала к концу вала, изолированный конец вала необходимо оградить. Об окончании сушки можно судить, как уже указывалось выше, по характеру изменения кривой роста сопротивления и по величине коэффициента $K_{аб}$ (рис. 172), который должен иметь значение порядка не ниже 1,3 и в течение 3—5 *час* при неизменной температуре оставаться постоянным. При этих условиях сушку генератора считают законченной, и генератор можно включать в сеть.

Глава четвертая

ИСПЫТАНИЕ И НАЛАДКА ТРАНСФОРМАТОРОВ

§ 1. МЕТОДЫ И НОРМЫ ИСПЫТАНИЙ

Основные определения. Ниже приводятся основные определения, которые распространяются на трансформаторы и автотрансформаторы с масляным и воздушным охлаждением, предназначенные для работы при частоте 50 *гц* как в закрытых помещениях, так и на открытом воздухе.

Номинальными величинами называются величины, указываемые на щитке трансформатора. Однако термин «номинальный» может применяться и к величинам, не указанным на щитке, но относящимся к номинальному режиму работы трансформатора, например, номинальное значение к. п. д., номинальные температурные условия охлаждающей среды и т. п. При определении номинальных величин предполагается, что переключатель ответвлений находится в положении, соответствующем номинальному режиму работы.

Номинальным режимом работы трансформатора называется режим работы, для которого он предназначен заводом-изготовителем.

Номинальной мощностью трансформатора называется мощность, выраженная в киловольт-амперах, которую отдает трансформатор на зажимах вторичной обмотки при номинальных значениях частоты, первичного напряжения и вторичного тока; при этом превышения температур при работе в течение неограниченного времени не должны превосходить значений, предусмотренных ГОСТ 401—41.

Номинальной мощностью трехобмоточного трансформатора называется мощность его наиболее мощной обмотки.

Номинальным первичным напряжением трансформатора называется напряжение, отмеченное на щитке трансформатора.

Номинальным вторичным напряжением трансформатора называется напряжение, которое получается при холостом ходе трансформатора и при номинальном напряжении на зажимах первичной обмотки.

Номинальными первичным и вторичным токами трансформатора называются токи, указываемые

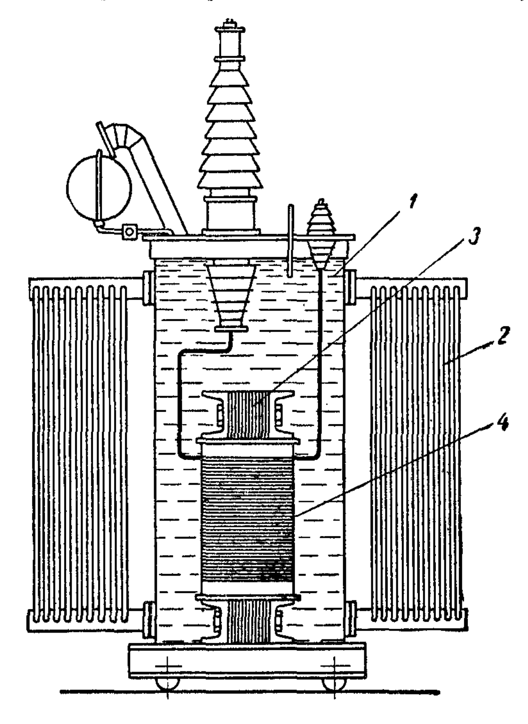


Рис. 178 Трансформатор:
1 — трансформаторное масло, 2 — трубчатый охладитель трансформатора, 3 — сердечник, 4 — обмотка

на щитке и определяемые из соответствующих номинальных значений мощности и напряжения обмоток.

Номинальной нагрузкой трансформатора называется нагрузка номинальным током.

Номинальная рабочая температура обмотки составляет 75°; она принимается эквивалентной (равноценной) действительной температуре обмотки, естественно изменяющейся на протяжении года, когда трансформатор работает непрерывно при номинальной нагрузке в номинальных условиях охлаждающей среды.

Обозначения. Из рис. 178 видно, что собой конструктивно представляет трансформатор. На рис. 179 показаны электрические схемы соединений трансформаторов на стороне высшего напряжения. Начала, концы, ответвления и нейтрали обмоток трехфазных и однофазных трансформаторов имеют следующие обозначения: *A*, *B*, *C* — выводы (начала) разных обмоток высшего напряжения *ВН* трехфазных трансформаторов, *X*, *Y*, *Z* — выводы, соответствующие концам тех же об-

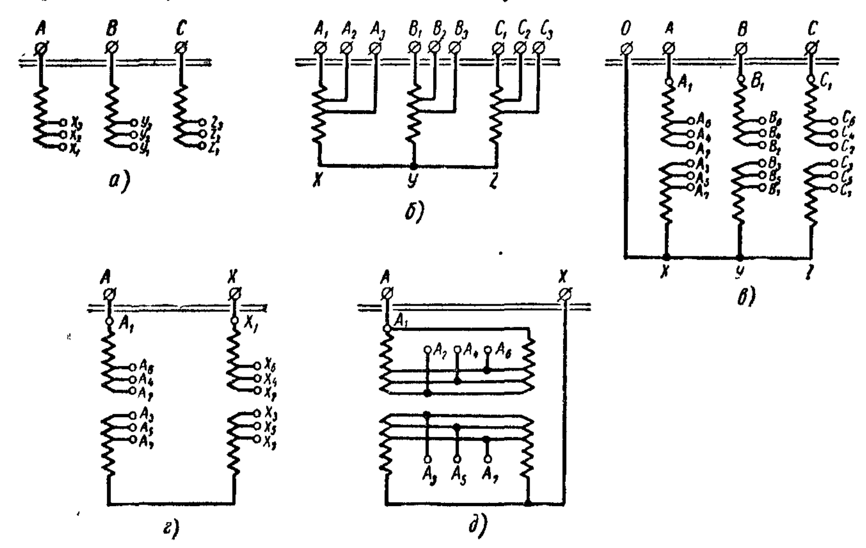


Рис. 179. Электрические схемы соединений трансформаторов на стороне высшего напряжения

моток; *a*, *b*, *c* и *x*, *y*, *z* — соответствующие выводы на стороне обмотки низшего напряжения *НН*; 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 — ответвления каждой фазы, имеющиеся на стороне обмоток *ВН*; *O* — выводы, соответствующие нейтральным точкам на стороне обмотки *ВН*, и *o* — на стороне обмотки *НН*.

Выводы начал и нейтралей обмоток *ВН* и *НН* трехфазных трансформаторов должны быть расположены в порядке *OABC* и *oabc* слева направо, если смотреть на них со стороны выводов обмотки *ВН* (рис. 179, *в*).

Выводы и ответвления обмоток однофазных трансформаторов имеют те же обозначения, что и фаза *A* — *X* трехфазного трансформатора (рис. 179, *г*). В трехобмоточных трансформаторах приняты следующие обозначения: *A*, *B*, *C*; *X*, *Y*, *Z* — начала и концы обмоток *ВН*; A_m, B_m, C_m; X_m, Y_m, Z_m — начала и концы обмоток *СН*; *a*, *b*, *c*; *x*, *y*, *z* — начала и концы обмоток *НН*. Если обмотки трансформаторов соединены в звезду, то выводы нулевой точки обозначают: *O*, O_m и *o*.

Схемы соединения обмоток обозначают: Y — при соединении обмоток в звезду; △ — при соединении в треугольник; Z — при соединении в зигзаг-звезду. Если обмотки при соединении их в звезду имеют нулевой вывод, то ставится индекс (Y_0). Схематическое расположение выводов на крышке трансформатора согласно ГОСТ 401—41 приведено на рис. 180. Если смотреть на трансформатор со стороны выводов *ВН*, то крайней левой будет обмотка фазы *А*, средней — фаза *В* и правой — фаза *С*. Так как обмотки *ВН* и *НН* соответствующих фаз надеты на один стержень магнитопровода, то, если смотреть на трансформатор со стороны выводов *НН*, крайней правой будет обмотка фазы *а*, средней — фаза *b* и крайней левой — фаза *с*.

ГОСТ 401—41 устанавливает следующие схемы, группы соединения обмоток и обозначения (рис. 181, *а, б*):

Y/Y_0 — 12 — обмотка *ВН* соединена в звезду, обмотка *НН* соединена в звезду с выведенным нулем, группа 12;

Y/△ — 11 — обмотка *ВН* соединена в звезду, обмотка *НН* соединена в треугольник, группа 11;

Y_0/△ — 11 — обмотка *ВН* соединена в звезду с выведенным нулем, обмотка *НН* соединена в треугольник, группа 11;

Y_0/Y_0/△ — 12 — 11 — обмотка *ВН* соединена в звезду с выведенным нулем, обмотка *СН* также соединена в звезду с выведенным нулем, обмотка *НН* — соединена в треугольник, группа 12—11;

Y_0/△/△ — 11 — 11 — обмотка *ВН* соединена в звезду с выведенным нулем, обмотка *СН* — соединена в треугольник, обмотка *НН* — соединена в треугольник.

Числовые значения в обозначении группы, т. е. числа 12 и 11, определяют угол между векторами *ВН* и *НН* в часовом обозначении. Для определения угла смещения в градусах необходимо умножить часовое обозначение группы на 30°.

Измерение сопротивления обмоток постоянному току. При измерении сопротивления могут выявиться следующие характерные дефекты: недоброкачественная пайка и плохие контакты в обмотке и в присоединении вводов; обрыв одного или нескольких из параллельных проводов в обмотках.

Измерения сопротивления обмоток производятся преимущественно методом вольтметра и амперметра, а также мостовым методом (например, одинарно-двойными мостами МОД-54 (см. рис. 48), МТВ (см. рис. 45) и др. Величина тока при измере-

ниях, как правило, не должна превышать 20% номинального тока обмотки. В отдельных случаях при кратковременных измерениях (длительностью порядка 1 *мин*), а также в случаях особой необходимости, допускается производить измерения при значениях тока более 20% номинального тока обмотки.

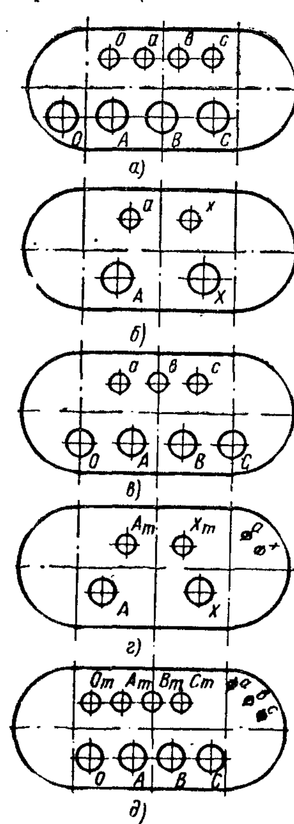


Рис. 180. Расположение выводов на крышке трансформаторов:

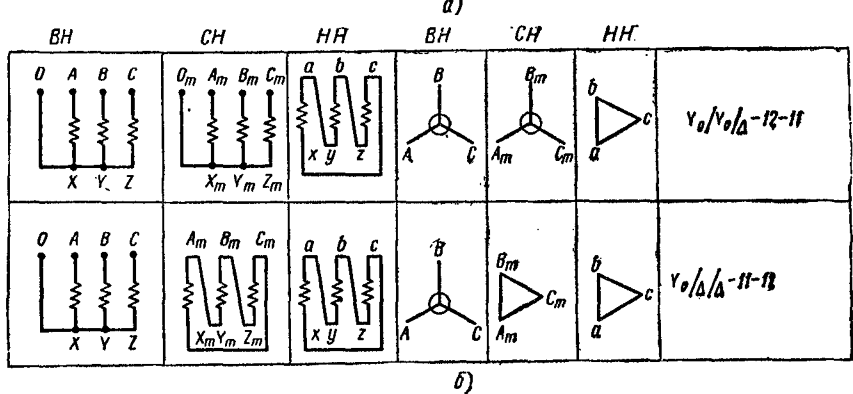
а — двухобмоточные трехфазные трансформаторы мощностью от 5 до 5600 *ква*, 35 *кв*, *б* — двухобмоточные однофазные трансформаторы всех номинальных мощностей и напряжений, *в* — двухобмоточные трехфазные трансформаторы мощностью 3200 *ква* и более, 110 *кв*, а также мощностью 7500 *ква* и более для всех напряжений, *г* — трехобмоточные однофазные трансформаторы всех номинальных мощностей и напряжений, *д* — трехобмоточные трехфазные трансформаторы всех номинальных мощностей и напряжений

В зависимости от величины измеряемого сопротивления выбирается схема измерения, приведенная на рис. 1, *а, б*. При измерении малых сопротивлений (порядка одного ома и ниже) провода цепи вольтметра присоединяют непосредственно к зажимам трансформатора (рис. 182, *а*), при измерении больших сопротивлений — применяют схему, показанную на рис. 182, *б*. Сопротивления проводов цепи вольтметра не должны превышать 0,5% величины сопротивления вольтметра. Включение вольтметра производят при установившемся значении тока, а его отключение — до разрыва цепи тока. Общие измерения производят также при установившихся показаниях приборов.

Междуфазные сопротивления измеряют между линейными зажимами для всех доступных ответвлений обмоток всех фаз, как это показано для низкой стороны трансформатора на рис. 183, *а*. При наличии нулевого ввода (зажима) в трансформаторе измеряют дополнительно одно из фазных сопротивлений (между нулевым и одним из линейных зажимов) для проверки качества присоединения и пайки нулевого ввода (рис. 183, *б*). При доступности нулевой точки обмотки трансформатора вместо измерения сопротивлений между линейными зажимами можно измерять фазные сопротивления, но при условии, что сопротивление цепи нулевого ввода (нейтрального зажима) достаточно мало и не превышает 2% по сравнению с сопротивлением фазной обмотки.

Схема соединений обмоток		Диаграмма векторов		Условные обозначения
ВН	НН	ВН	НН	
A B C X Y Z	0 a b c x y z	B A C	b a c	Y/Y_0-12
A B C X Y Z	a b c x y z	B A C	b a c	$Y/\Delta-11$
0 A B C X Y Z	a b c x y z	B A C	b a c	$Y_0/\Delta-11$

а)



б)

Рис. 181. Схемы и группы соединения обмоток:

а — для трехфазных двухобмоточных трансформаторов, *б* — для трехфазных трехобмоточных трансформаторов

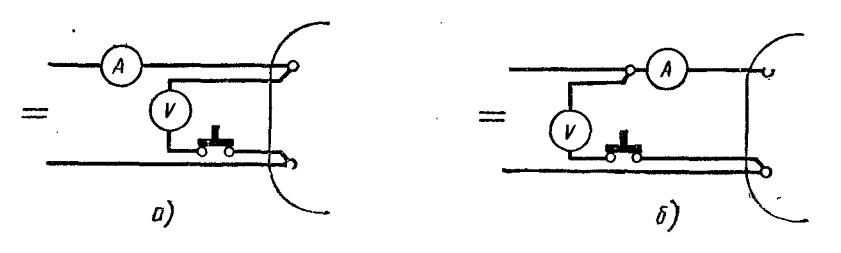


Рис. 182. Схемы измерения обмоток:

а — малых сопротивлений, *б* — больших сопротивлений

Если обмотки трехфазного трансформатора соединены звездой и нулевая (нейтральная) точка недоступна, то измеряют сопротивления: R_{AB}, R_{BC} и R_{CA} на линейных зажимах $A — B$, $B — C$ и $C — A$. В этом случае, при соединении обмотки в звезду, $R_{AB} = R_A + R_B$, $R_{BC} = R_B + R_C$ и $R_{CA} = R_C + R_A$. Здесь R_A,R_B и R_C - сопротивления фазных обмоток, $A — X$, $B — Y$ и $C — Z$. В том случае, если линейные сопротивления равны между собой $R_{AB} = R_{BC} = R_{CA}$, сопротивление фазных обмоток определяется следующим образом:

$$R_A = R_B = R_C = \frac{1}{2} R_{ср},$$

где $R_{ср}$ — среднее значение измеренного сопротивления при опыте.

Если обмотки трансформатора соединены неразъемным треугольником (рис. 181), то так же, как и в предыдущем случае, производят три измерения сопротивлений на линейных зажимах $A — B$, $B — C$, $C — A$ и определяют среднее арифметическое $R_{ср}$, тогда

$$R_A = R_B = R_C = \frac{3}{2} R_{ср}.$$

При необходимости в измеряемое сопротивление обмотки вносят поправки, обусловленные потреблением тока вольтметром (рис. 182, *а*) или потерей напряжения в амперметре (рис. 182, *б*), по формулам: $R_{изм} = \dfrac{U}{I - \dfrac{U}{R_в}}$ — для схемы рис. 182, *а*, где $R_в$ — сопротивление вольтметра; $R_{изм} = \dfrac{U - IR_а}{I}$ — для схемы рис. 182, *б*, где $R_а$ — сопротивление амперметра. Для получения более точных результатов измерения производят при трех-четырех различных значениях тока и берут среднее арифметическое из полученных значений. Полученные величины заносят в таблицу (см. приложение 2).

Температура обмотки трансформатора может быть определена по результатам сравнения сопротивления обмотки постоянному току, измеренного в нагретом состоянии трансформатора, и сопротивления, при котором температура обмотки была достоверно известна. В общем случае сопротивление обмотки трансформатора приводится к температуре, которая определяется по формуле

$$R_г = R_х \cdot \frac{235 + \vartheta_г}{235 + \vartheta_х}.$$

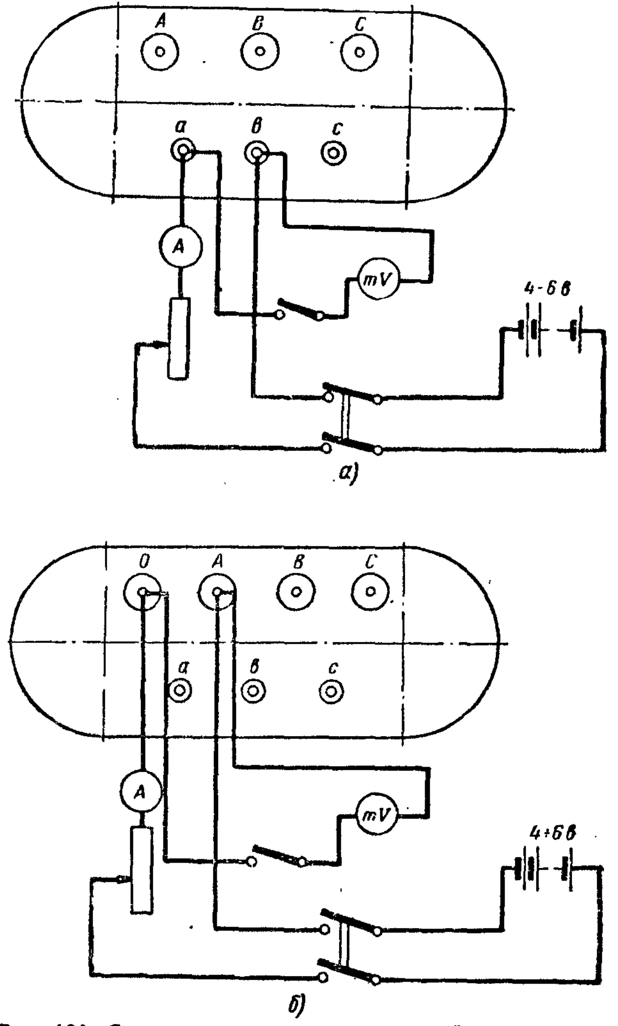


Рис. 183. Схемы измерения сопротивлений постоянному току:
а — междуфазных сопротивлений, *б* — фазных сопротивлений

Здесь $\vartheta_г$ и $R_г$ — температура и соответствующее ей сопротивление обмотки в горячем состоянии;

ϑ_x и R_x — температура и соответствующее ей сопротивление в холодном состоянии.

При измерении сопротивления необходимо фиксировать температуру обмотки, при которой производят измерение. При этом за температуру обмотки трансформатора, находящегося в течение достаточно длительного времени в отключенном состоянии в условиях окружающей среды с практически неизменной температурой, принимают температуру окружающей среды, т. е. окружающего воздуха. Максимальное значение при воздушном охлаждении трансформатора принимают +35°. За температуру обмотки длительно отключенного масляного трансформатора во всех случаях допускается принимать температуру верхних слоев масла в трансформаторе.

Определение коэффициента трансформации. Коэффициентом трансформации трансформаторов называется отношение напряжения обмотки высшего напряжения (*ВН*) к напряжению обмотки низшего напряжения (*НН*) при холостом ходе, т. е.

$$K_л = \frac{U_1}{U_2},$$

где $K_л$ — коэффициент трансформации линейных напряжений;

U_1 — первичное линейное напряжение обмотки *ВН*;

U_2 — вторичное линейное напряжение обмотки *НН*.

При определении коэффициента трансформации однофазных трансформаторов или фазного коэффициента трансформации трехфазных трансформаторов отношение напряжений можно приравнять к отношению чисел витков обмоток:

$$K_ф = \frac{U_{1ф}}{U_{2ф}} = \frac{W_1}{W_2},$$

где $K_ф$ — фазный коэффициент трансформации;

$U_{1ф}$ — фазное напряжение обмотки *ВН*;

$U_{2ф}$ — фазное напряжение обмотки *НН*;

W_1 — число витков обмотки *ВН*;

W_2 — число витков обмотки *НН*.

При измерении линейного коэффициента трехфазного трансформатора равенство отношения высшего и низшего линейных напряжений обмоток и соответственно числа витков *ВН* и *НН* сохранится лишь при одинаковых группах соединений этих обмоток. Определение коэффициента трансформации производят на всех ответвлениях обмоток и для всех фаз. Эти измерения, кроме проверки самого коэффициента трансформации, дают возможность проверить также правильность установки переключателя напряжения на соответствующих ступенях, а также це-

ность обмоток. В паспорте каждого трансформатора всегда даются номинальные напряжения обеих обмоток, относящиеся к режиму холостого хода. Поэтому номинальный коэффициент трансформации можно легко определить по их отношению с учетом соединения. Если первичная и вторичная обмотки соединены по одинаковой схеме, например, обе в звезду, обе в треугольник и т. д., фазный и линейный коэффициенты трансформации равны друг другу. При различных схемах соединения обмоток, например одной в звезду, а другой в треугольник, линейный и фазный коэффициенты трансформации не одинаковы, в данном случае они отличаются один от другого в $\sqrt{3}$ раз.

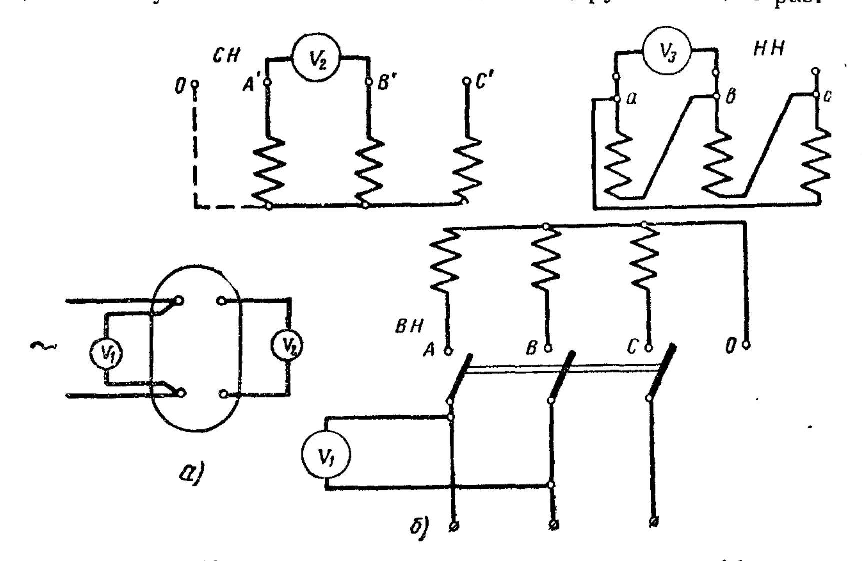


Рис. 184. Метод двух вольтметров для определения коэффициента трансформации:

а — для двухобмоточных трансформаторов, *б* — для трехобмоточных трансформаторов: *ВН*, *СН* и *НН* — соответственно обмотки высокого, среднего и низкого напряжения

Для определения коэффициента трансформации измерением применяют метод двух вольтметров (рис. 184, *а*, *б*), заключающийся в том, что напряжение, подводимое к одной из обмоток трансформатора, измеряют одним из вольтметров и одновременно другим вольтметром измеряют напряжение на другой обмотке трансформатора. При испытании трехфазных трансформаторов одновременно измеряют линейные напряжения, соответствующие одноименным линейным зажимам обеих проверяемых обмоток. Подводимое напряжение не должно превышать номинального напряжения трансформатора и не должно быть чрезмерно малым, чтобы на результаты измерений не

могли повлиять ошибки вследствие потери напряжения в обмотках от тока холостого хода и тока, обусловленного присоединением измерительного прибора к зажимам вторичной обмотки. Величина подводимого напряжения ориентировочно должна быть в пределах от одного (для трансформаторов большой мощности) до нескольких десятков процентов номинального напряжения (для трансформаторов небольшой мощности).

В случае необходимости вольметр присоединяется через трансформатор напряжения или включается с добавочным сопротивлением. Измерения производятся при помощи измерительных приборов класса 0,5.

Допускается присоединять вольтметр V_1 (рис. 184, *а*) к питающим проводам, а не к вводам трансформатора, если это не может практически отразиться на точности измерений из-за падения напряжения в питающих проводах.

При испытании трехфазных трансформаторов со схемой соединения обмоток $Y/\triangle$ или $\triangle/Y$ определение коэффициента трансформации согласно ГОСТ 3484—55 допускается, если это вызывается необходимостью (например, при отсутствии трехфазного симметричного напряжения), производить другим методом. Одну из фаз, например фазу *А* обмотки, соединенной в треугольник, замыкают накоротко путем соединения двух соответствующих линейных зажимов данной обмотки. Затем при однофазном возбуждении определяют коэффициент трансформации оставшейся свободной пары фаз, который при данном методе должен быть равным $2K_ф$ (при схеме $Y/\triangle$) или $\frac{K_ф}{2}$ (при схеме $\triangle/Y$), где $K_ф$ — фазный коэффициент трансформации.

Аналогичным образом производят измерения при накоротко замкнутых фазах *В* и *С*.

При испытании трехобмоточных трансформаторов коэффициент трансформации достаточно проверить для двух пар обмоток (рис. 184, *б*). Если у трансформатора выведена нейтраль или доступны все начала и концы обмоток, то определение коэффициента трансформации можно производить для фазных напряжений. Проверку коэффициента трансформации по фазным напряжениям производят при однофазном или трехфазном возбуждении трансформатора. Измеренный коэффициент трансформации не должен отличаться более чем на 1—2% от коэффициента трансформации на том же ответвлении на других фазах и от паспортных данных.

Коэффициент трансформации при приемно-сдаточных испытаниях определяется дважды — первый раз до монтажа, если паспортные данные отсутствуют или вызывают сомнения, и второй раз — непосредственно перед вводом в эксплуатацию при снятии характеристики холостого хода. Рассмотрим определение коэффициента трансформации на примерах.

● Пример 1. Необходимо определить коэффициент трансформации трансформатора с номинальным линейным напряжением 10 000/400 *в*. Напряжение сети 127 или 380 *в*, вольтметр электродинамической системы, астатический, класса 0,5, с четырехпредельным измерением типа АМВ 0—75—150—300—600 *в* — 2 шт., лабораторный трансформатор напряжения типа И-50 (рис. 185), расчетный коэффициент трансформации трансформатора $K=\frac{10\,000}{400}=25$. При питании обмотки *НН* от сети 127 *в* (U_1) на обмотке *ВН* будет напряжение $U_2=127\cdot 25=3175$ *в*. В этом случае измерить коэффицент трансформации присоединением вольтметра непосредственно к обмотке *ВН* мы не можем, поэтому включаем его через трансформатор напряжения. При этом вольтметр включают с пределом измерения 150 *в*, а трансформатор напряжения И-50 — с пределом измерения 3000/100 *в*. При включении вольтметра через трансформатор напряжения постоянную вольтметра $\left(C_v=\frac{U}{n}\right)$ следует умножить на коэффициент трансформации трансформатора напряжения И-50 $C_v'=C_v\cdot K_{т.н}$. Таким образом, в данном случае вольтметр со шкалой на 150 делений имеет постоянную $C_v'=\frac{150}{150}\cdot\frac{3000}{100}=30$.

При питании обмотки *ВН* от сети 380 *в* напряжение на обмотке *НН* составит:

$$U_2=\frac{380}{25}=15{,}2\ в.$$

Если напряжение измерять вольтметром 75—600 *в* с пределом измерения 75 *в*, стрелка вольтметра отклонится приблизительно на 30 делений. Однако первый способ, когда напряжение подводится к обмотке *НН*, является более удобным.

Как правило, при измерении коэффициента трансформации следует так подбирать измерительную аппаратуру и подводимое напряжение, чтобы отсчет производился по второй половине шкалы вольтметров.

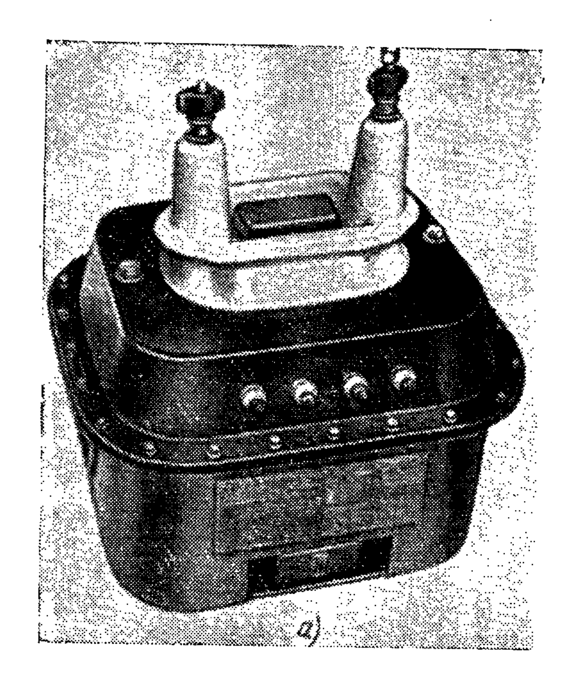
● Пример 2. Имеется трансформатор, первичная обмотка которого включена в сеть напряжением 10 000 *в*, а на зажимах вторичной обмотки напряжение равно 400 *в*. Схема соединения обмоток Y/Y_0—12. Определить коэффициент трансформации:

а) линейных напряжений

$$K_л=\frac{U_1}{U_2}=\frac{10\,000}{400}=25;$$

б) фазных напряжений

$$K_ф=\frac{U_{1ф}}{U_{2ф}}=\frac{U_{1л}:\sqrt{3}}{U_{2л}:\sqrt{3}}=\frac{10\,000:\sqrt{3}}{400:\sqrt{3}}=25.$$



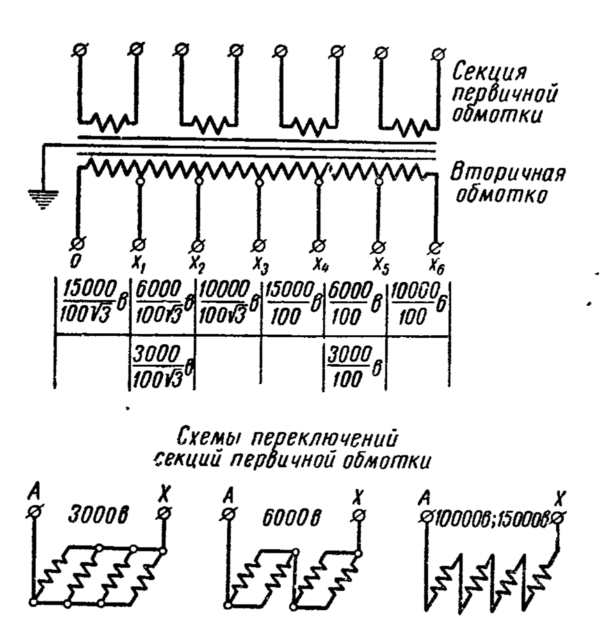


Рис. 185 Измерительный трансформатор напряжения И-50:
а — внешний вид, *б* — принципиальная схема соединений

• Пример 3. Имеется трансформатор, первичная обмотка которого включена в сеть напряжением 31 500 *в*, а на зажимах вторичной обмотки напряжение равно 525 *в*. Схема соединения Y/Δ—11. Определить коэффициент трансформации:

а) линейных напряжений

$$K_л = \frac{U_{1л}}{U_{2л}} = \frac{31\,500}{525} = 60;$$

б) фазных напряжений

$$K_ф = \frac{U_{1л} : \sqrt{3}}{U_{2л}} = \frac{U_{1ф}}{U_{2ф}} = \frac{31\,500 : \sqrt{3}}{525} = 34{,}7.$$

Следовательно, при соединении обмоток *ВН* и *НН* трехфазных трансформаторов различными схемами соединения линейный и фазный коэффициенты не одинаковы; они отличаются один от другого, как указывалось выше, в $\sqrt{3}$ раз.

Ниже приводится описание универсального прибора для измерения коэффициентов трансформации УИКТ-3, предназначенного для измерения коэффициентов трансформации силовых и измерительных трансформаторов тока и напряжения без применения постороннего источника переменного тока. Одновременно с измерением коэффициента трансформации определяется полярность первичной и вторичной обмоток. Погрешность в измерении не превышает 0,5% измеряемой величины.

Принцип работы прибора основан на сравнении напряжений, индуктируемых во вторичной и первичной обмотках трансформатора — с падением напряжения на известных сопротивлениях (рис. 186, *а*).

Балансировка моста производится изменением сопротивления *R*. При присоединении трансформатора необходимо строго соблюдать указанную на приборе полярность его обмоток. В случае изменения полярности одной из обмоток компенсация моста невозможна, так как векторы напряжений на сопротивлениях и на обмотке оказываются сдвинутыми на 180° один относительно другого.

Таким образом, одновременно с измерением коэффициента трансформации определяется полярность обмоток трансформатора. Источником питания в приборе служат две последовательно соединенные батареи от карманного фонаря КБС-Л-0,5 с напряжением 4,5 *в*. Для преобразования постоянного тока в переменный применен синхронный вибропреобразователь ВС-4,8

с катушкой возбуждения на 4,8 *в*. В качестве нулевого индикатора применен микроамперметр постоянного тока М-494 на 100 *мка*. В качестве выпрямителей в диагонали моста используются полупроводниковые выпрямители — диоды ДГ-Ц4.

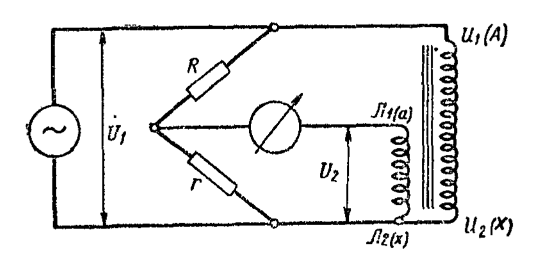




Рис. 186. Универсальный прибор:
а — принципиальная схема, *б* — внешний вид

Все детали прибора смонтированы на гетинаксовой панели и помещены в металлический футляр с откидной крышкой (рис. 186, *б*). Габариты прибора: 305×195×135 *мм*. Вес 3 *кг*.

Проверка группы соединения обмоток трансформаторов. Группа соединения трансформатора имеет особо важное значение для параллельной работы его с дру-

гими. Одним из главнейших условий допустимости параллельной работы трансформаторов является тождественность (одинаковость) групп соединения обмоток. Проверка групп производится до монтажа, если отсутствуют паспортные данные или имеются сомнения в этих данных. Группа соединений должна соответствовать паспортным данным и обозначениям на щитке.

Проверка группы соединений обмоток производится одним из следующих методов: методом постоянного тока (измерение полярности однофазных трансформаторов); прямым методом (фазометром); методом двух вольтметров.

При испытаниях обычно применяется прямой метод проверки группы соединений. Однако при наладке и отсутствии фазо-

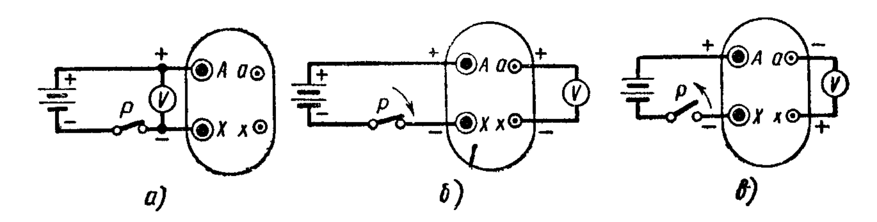


Рис. 187. Определение группы соединений обмоток трансформатора методом постоянного тока:

а — при замыкании обмотки и включенном вольтметре со стороны *ВН*, *б* — при замыкании обмотки и включенном вольтметре со стороны *НН*, *в* — при размыкании обмотки и включенном вольтметре со стороны *НН*

метра производится проверка группы соединений постоянным током как для однофазных, так и для трехфазных трансформаторов. Последний метод в применении к трехфазным трансформаторам требует большой тщательности в работе и пользоваться им можно только в тех случаях, когда нет возможности проверить группу другим методом. Для трехобмоточных трансформаторов производится проверка группы соединения для двух любых пар обмоток.

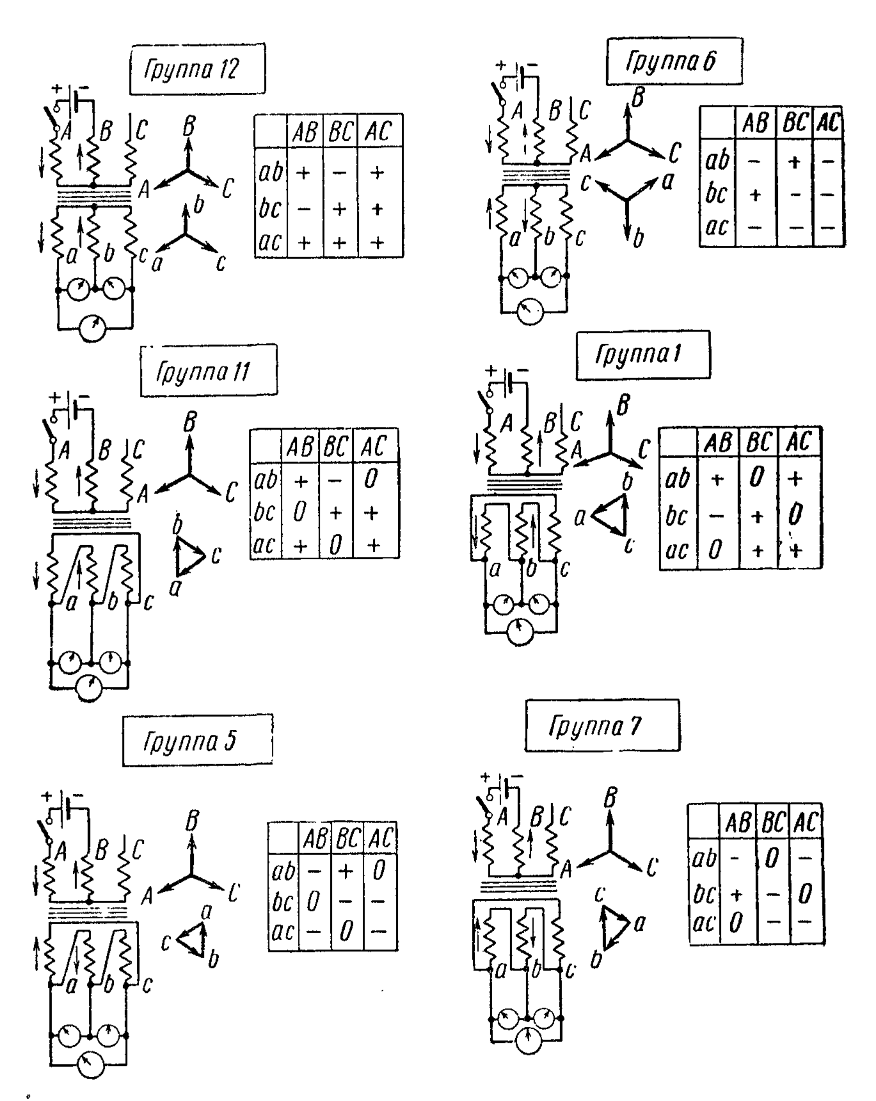
Проверка группы соединения методом постоянного тока для однофазных трансформаторов сводится к определению однополярных зажимов. Определение группы соединений производят по схеме (рис. 187, *а*) путем поочередной проверки полярности (плюс или минус) зажимов *А* — *X* и *а* — *х* магнитоэлектрическим вольтметром *V*, имеющим соответствующий предел измерения. При этом к зажимам *А* — *X* обмотки высшего напряжения *ВН* подводится напряжение постоянного тока порядка 2÷12 *в* от аккумуляторной батареи, выпрямительной установки или гальванической батареи. В обмотке низшего напряжения индуктируется э. д. с. определенного

знака. Полярность э. д. с. на зажимах $A-X$ устанавливают при включенном рубильнике P. После проверки полярности зажимов $A-X$ вольтметр отсоединяют, не отключая рубильника P, и присоединяют к зажимам (вводам) $a-x$. Полярность зажимов $a-x$ устанавливается в момент включения или отключения рубильника. Вольтметр включают теми же концами к одноименным вводам обмотки *НН*, т. е. плюс вольтметра присоединяют к a, а минус к x (рис. 187, *б*). Вольтметр не будет давать показаний. Если же мы снова замкнем рубильник P цепи тока обмотки *ВН*, то в этот момент стрелка вольтметра отклонится. При отклонении стрелки вольтметра в ту же сторону, что при присоединении к вводам *ВН*, будет группа соединения обмоток трансформатора $^1/_1$—12 (рис. 187, *б*), при отключении же стрелки прибора в обратную сторону, группа соединения трансформатора будет $^1/_1$—6 (рис. 187, *в*).

Необходимо иметь в виду, что если производить не замыкание, а размыкание цепи обмотки *ВН*, то вольтметр, присоединенный к обмотке *НН*, будет давать показания в обратную сторону; следовательно, если полярность зажимов $a-x$ при включении тока окажется одинаковой с полярностью зажимов $A-X$, а при отключении — разной, то трансформатор относят к группе соединения *12*, в противоположном случае — к группе соединения *6* (рис. 187, *в*).

Особенно это важно при определении этим методом группы соединения трехфазных трансформаторов; поэтому необходимо обращать внимание на правильное включение вольтметра и отклонение стрелки прибора в ту или другую сторону в зависимости от того, производится замыкание или размыкание первичной цепи трансформатора. ГОСТ 3484—55 рекомендует этот метод только для однофазных трансформаторов. Для определения группы соединения методом постоянного тока наблюдают, при включенном вольтметре, только за направлением отклонения стрелки вольтметра, и поэтому можно применять любой магнитоэлектрический прибор, например М-106, М-45М, М-65, М-250, В-1500/5 и др.

Чтобы определить группу соединений обмоток трехфазного трансформатора методом постоянного тока, к зажимам *АВ* обмотки высшего напряжения подводится постоянный ток, а к зажимам *ab*, *bc*, *ac* низшего напряжения поочередно присоединяют прибор постоянного тока. Таким же образом подводится постоянный ток к зажимам *ВС* и *АС* и записывается знак отклонения (+, —) при включении прибора, присоединенного к зажимам *ab*, *bc*, *ac*. Все эти измерения сводятся в таблицу. Каждой группе соединения соответствует своя таблица. На рис. 188 приведены схемы соединений и соответствующие им таблицы для определения группы соединений трехфазных трансформаторов методом постоянного тока.



	AB	BC	AC
ab	+	−	+
bc	−	+	+
ac	+	+	+

	AB	BC	AC
ab	−	+	−
bc	+	−	−
ac	−	−	−

	AB	BC	AC
ab	+	−	0
bc	0	+	+
ac	+	0	+

	AB	BC	AC
ab	+	0	+
bc	−	+	0
ac	0	+	+

	AB	BC	AC
ab	−	+	0
bc	0	−	−
ac	−	0	−

	AB	BC	AC
ab	−	0	−
bc	+	−	0
ac	0	−	−

Рис. 188. Схемы соединений и таблицы для определения группы соединений трехфазных трансформаторов методом постоянного тока

Прямой метод (метод фазометра). С помощью фазометра, показывающего $\cos \varphi$, определяют угол между первичной и вторичной э. д. с. трансформатора. Фазометр не имеет пружин для создания противодействующего момента, и поэтому его стрелка при отключении прибора занимает произвольное положение. В фазометрах с двухсторонней шкалой правая ее часть показывает коэффициент мощности при индуктивной нагрузке, левая часть шкалы — при емкостной. В фазометрах с четырехквадрантной шкалой верхняя ее половина такая же, как и у фазометров с двухсторонней шкалой, нижняя часть шкалы показывает обратные значения. При проверке группы соединения фазометром вводится дополнительное активное сопротивление R такой величины, чтобы подводимое к фазометру напряжение не превышало номинального значения напряжения фазометра. Однополярные зажимы трансформаторов на рисунке отмечены звездочками.

Для определения группы соединений однофазных трансформаторов последовательную обмотку однофазного фазометра включают через активное сопротивление R к зажимам одной из обмоток, а параллельную обмотку — к одноименным зажимам другой обмотки испытуемого трансформатора (рис. 189). К одной из обмоток трансформатора подводят напряжение небольшой величины, достаточное для нормальной работы фазометра. Схема включения однофазного фазометра для определения группы соединения обмоток трансформатора приведена на рис. 190, *а*.

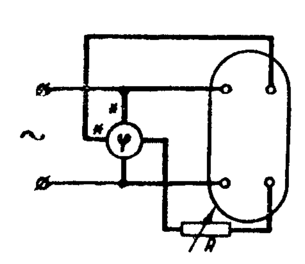


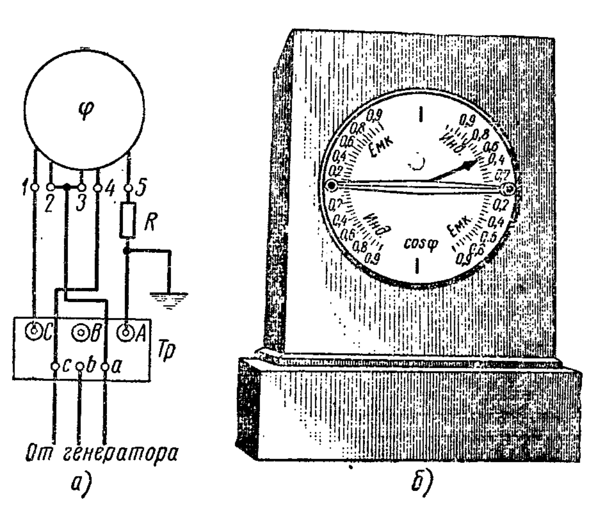
Рис. 189. Принципиальная схема включения фазометра

Для определения групп соединения наиболее удобен четырехквадрантный фазометр (рис. 190, *б*); при группах соединений *11* и *12* применяется четырехквадрантный переносный фазометр ЭЛФ, при этом следует пользоваться четвертым квадрантом, которым измеряют угловые смещения от 270 до 360°.

Фазометр с четырехквадрантной шкалой, отградуированный в часах, показывает непосредственно угловое смещение электродвижущих сил в градусах или группу соединения в часовом обозначении (рис. 190, *в*). Обмотка напряжения фазометра включается непосредственно через трансформатор напряжения, или через добавочное сопротивление.

Полную схему фазометра первоначально (перед ее включением) проверяют при различных заведомо известных группах соединений при тех же условиях, в каких фазометр будет работать при испытаниях.

При определении группы соединения трехфазных трансфор-



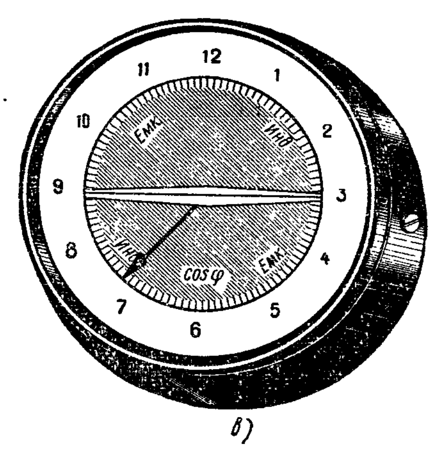


Рис. 190. Определение группы соединений обмоток трансформатора фазометром:

а — схема включения однофазного фазометра для определения группы соединения обмоток трансформатора: *R* — активное сопротивление, включенное в токовый контур фазометра; *б* — общий вид четырехквадрантного фазометра; *в* — фазометр со шкалой в часовом обозначении для определения группы соединений

маторов производят не менее двух измерений, т. е. для двух пар одноименных зажимов, например AB — $ав$ и AC — $ас$, при этом в обоих случаях должны получаться одинаковые результаты.

Определение группы соединений трехобмоточных трансформаторов производится сначала между обмотками высшего и низшего напряжений, а затем — между обмотками среднего и низшего напряжений, т. е. совершенно так же, как у двухобмоточных трансформаторов, и с применением тех же приборов.

Применение фазометра для определения групп соединения обмоток трансформатора в некоторой мере усложняется тем,

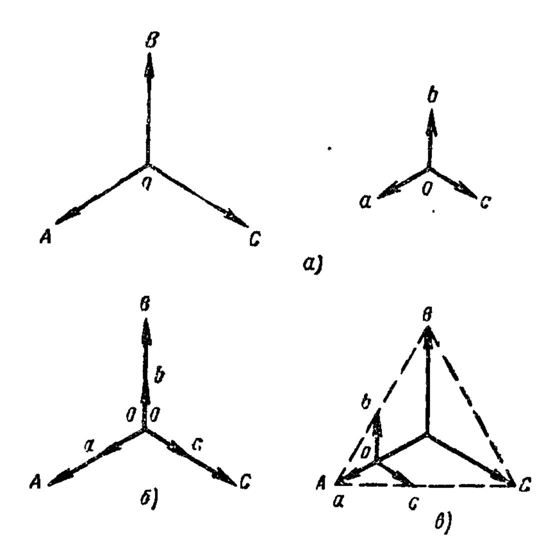


Рис. 191. Векторные диаграммы для группы соединения Y/Y — 12:

а — системы векторов напряжений обмоток *ВН* и *НН*, *б* — совмещение обеих систем нулевыми точками, *в* — совмещение обеих систем точками *А* и *а*

что в каждом отдельном случае требуется подбирать добавочное сопротивление к токовой обмотке фазометра. Тем не менее при массовой проверке групп соединения обмоток метод фазометра является удобным и может с успехом применяться.

Метод двух вольтметров для определения группы соединения обмоток является распространенным и доступным. Метод основан на совмещении векторных диаграмм первичного и вторичного напряжений и измерении напряжений между соответствующими вводами с последующим сравнением этих напряжений с расчетными. На рис. 191, *а* показана векторная диаграмма трансформатора со схемой соединения обмоток Y/Y

с одинаковым направлением намотки обмоток *ВН* и *НН*. Совмещение обычно производится нулевыми точками обмоток *ВН* и *НН* (рис. 191, *б*), нулевой точки одной обмотки *ВН* или *НН* с началом одной из фаз другой обмотки или одноименными началами обмоток *ВН* и *НН* (*А* и *а*, *В* и *в* или *С* и *с*), как показано на рис. 191, *в*, где совмещены начала фаз *А* и *а*. Так как угол сдвига между векторами линейных напряжений *ВН* и *НН* равен нулю, то трансформатор, следовательно, имеет группу соединений *12*. Вследствие того что не у всех трехфазных трансформаторов имеются на крышке нулевые выводы, то всегда принято производить совмещение начал одноименных обмоток *ВН* и *НН*. Согласно ГОСТ 3484—55 для проверки группы соединений трансформатора соединяют электрически одноимен-

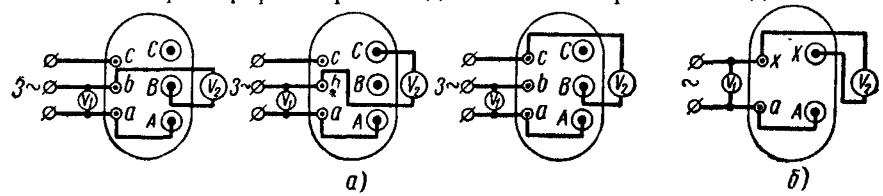


Рис. 192. Схемы для определения группы соединений обмоток трансформатора по методу двух вольтметров:
а — трехфазные трансформаторы, *б* — однофазные трансформаторы

ные зажимы (вводы)высшего *ВН* и низшего напряжения *НН*, т. е. *А* и *а* испытываемого трансформатора и т. д. К одной из обмоток (безразлично какой) подводят пониженное напряжение, обычно не более 250 *в*, и измеряют последовательно вольтметром класса 0,5 напряжения между зажимами (вводами) *b*—*B*, *b*—*C* и *c*—*B* при испытании трехфазных трансформаторов (рис. 192, *а*) и зажимами (выводами) *x*—*X*—при испытании однофазных трансформаторов (рис. 192, *б*). Далее измеренные напряжения U_{b-B}, U_{b-C} и U_{c-B} (или U_{x-X}) в вольтах между соответствующими зажимами (вводами) трансформатора сравнивают с соответствующими расчетными напряжениями, вычисленными по формулам табл. 23, где $U_{н.н}$ — линейное напряжение на зажимах (вводах) обмотки низшего напряжения *НН* при данном испытании в вольтах; $K_л$ — линейный коэффициент трансформации, определяемый по отношению номинальных напряжений при холостом ходе. Если измеренные и расчетные значения указанных напряжений соответственно одинаковы, то группа соединений является правильной.

Для однофазных трансформаторов возможны только две группы соединения обмоток (*12* и *6*) и проверка их значительно проще. С этой целью соединяют электрически зажимы (вводы) *А* и *а* и измеряют напряжение между зажимами *X* и *x* (рис. 192, *б*). При группе соединения *12* угол сдвига векторов

Таблица 23

Проверка группы соединения трехфазных трансформаторов методом двух вольтметров

Группа соединений	Угловое смещение э.д.с.	Возможные соединения обмоток	Векторная диаграмма линейных электродвижущих сил	U_{b-B} (U_{x-X})*	U_{b-C}	U_{c-B}
12	0	YY; △△; △Z (1/1)		$U_{н.и}(K-1)$	$U_{н.н}\sqrt{1-K+K^2}$	$U_{н.н}\sqrt{1-K+K^2}$
5	150	Y△; △Y; YZ (1/1)		$U_{н.н}\sqrt{1+\sqrt{3}\cdot K+K^2}$	$U_{и.и}\sqrt{1+K^2}$	$U_{н.н}\sqrt{1+\sqrt{3}\cdot K+K^2}$
6	180	YY; △△; △Z (1/1)		$U_{н.н}(1+K)$	$U_{н.н}\sqrt{1+K+K^2}$	$U_{и.и}\sqrt{1+K+K^2}$
11	330	Y△; △Y; YZ		$U_{н.н}\sqrt{1-\sqrt{3}\cdot K+K^2}$	$U_{н.н}\sqrt{1+K^2}$	$U\sqrt{1-\sqrt{3}\cdot K+K^2}$

напряжения *ВН* и *НН* равен 360° или 0°, следовательно напряжение, измеренное на зажимах (вводах) *X* и *x*, будет:

$$U_{X-x} = U_л (K - 1).$$

При группе соединения *6* угол сдвига векторов напряжения *ВН* и *НН* составит 180° и напряжение на зажимах (вводах) *X* и *x* будет: $U_{X-x} = U_л\ (K+1)$, где K — расчетный коэффициент трансформации, определяемый по отношению величин номинальных фазных напряжений трансформатора при холостом ходе.

Группы соединения однофазных трансформаторов условно обозначаются:

группа 12—$^1/_1$—12,

группа 6—$^1/_1$—6.

Измерение сопротивления изоляции обмоток производится мегомметром между каждой обмоткой и корпусом (землей) и между обмотками, при отсоединенных и заземленных на корпус остальных обмотках. В двухобмоточных трансформаторах производятся измерения между обмоткой *ВН* и корпусом, между обмоткой *НН* и корпусом и между обмотками *ВН* и *НН*. Состояние изоляции характеризуется не только абсолютным значением сопротивления изоляции (которое зависит от габаритов трансформаторов и примененных в нем материалов), но и коэффициентом абсорбции (отношением сопротивления изоляции, измеренного через 60 *сек* после приложения напряжения, к сопротивлению изоляции, измеренному через 15 *сек*: $K_{аб} = R''_{60} : R''_{15}$).

Измерение сопротивления изоляции позволяет судить как о местных дефектах, так и о степени увлажнения изоляции обмоток трансформатора. Измерение сопротивления изоляции должно производиться мегомметром на напряжение 1000 ÷ 2500 *в* по схемам рис. 193, *а, б* с соблюдением правил, изложенных выше в гл. I.

Для трансформаторов 110 *кв* и выше, а также для трансформаторов мощностью 7500 *ква* и выше напряжением 35 *кв* сопротивление изоляции R''_{60} проверяется в горячем состоянии при температуре верхних слоев масла 60—70°.

Величина сопротивления изоляции R''_{60} не нормирована и показателем в данном случае является сравнение ее с данными заводских или предыдущих испытаний. Коэффициент абсорбции $K_{аб} = R''_{60}/R''_{15}$ также не нормируется. Обычно при температуре 10—30° для неувлажненных трансформаторов он лежит в следующих пределах: для трансформаторов напряжением 35 *кв* и ниже — 1,3 и выше, а для трансформаторов 110 *кв* и выше —

в пределах 1,5—2,0. Для трансформаторов, увлажненных или имеющих местные дефекты в изоляции, коэффициент абсорбции приближается к 1,0. В связи с тем что при приемно-сдаточных испытаниях приходится производить измерение коэффициента абсорбции ($K_{аб}$) трансформаторов при различных температурах изоляции, следует учитывать, что величины коэффициента абсорбции изменяются с изменением температуры. Зависимость коэффициента абсорбции $K_{аб}=\frac{R''_{60}}{R''_{15}}$ от температуры изоляции показана на рис. 194.

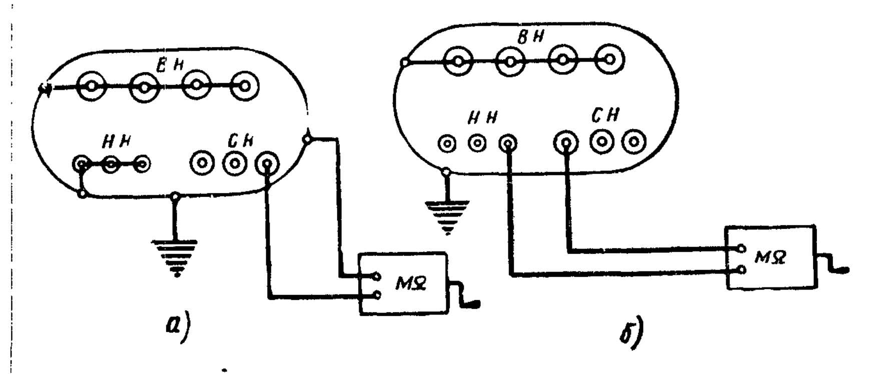


Рис. 193. Измерение сопротивления изоляции обмоток трансформатора: *а* — относительно корпуса, *б* — между обмотками

Для сравнения величин сопротивления изоляции необходимо измерять сопротивления при одной и той же температуре. Поэтому в протоколе испытания указывается температура, при которой производилось измерение. При сравнении результатов измерений сопротивления изоляции при разных температурах эти результаты могут быть приведены к одной температуре при помощи коэффициентов K_2 (табл. 24), учитывая, что на каждые 10° понижения температуры сопротивление изоляции (одноминутное) увеличивается в 1,5 раза.

Наладка переключающих устройств трансформатора под нагрузкой. В связи с различным режимом электропотребления в течение суток, недели, сезона (воскресные или рабочие дни, утренний или вечерний максимум, дневной или ночной провал графика нагрузки, летний или зимний день и т. д.) возникает необходимость регулировать на питающих подстанциях и электростанциях или непосредственно у самих потребителей уровень напряжения с тем, чтобы при любых нагрузках у электроприемников поддерживалось номинальное напряжение с отклонениями, не превышающими ±5%.

У современных силовых двухобмоточных и трехобмоточных трехфазных трансформаторов с номинальной мощностью от 10 000 до 40 500 *ква* включительно, напряжением 35 и 110 *кв* при помощи специальных переключающих устройств, изменяющих (без нагрузки или под нагрузкой) число включенных витков обмоток трансформатора, производится регулирование напряжения на стороне высшего напряжения в пределах $\pm 4 \times 2{,}5\%$ номинального напряжения, на стороне *СН* при отключенном от сети трансформаторе в пределах $\pm 2 \times 2{,}5\%$ номинального.

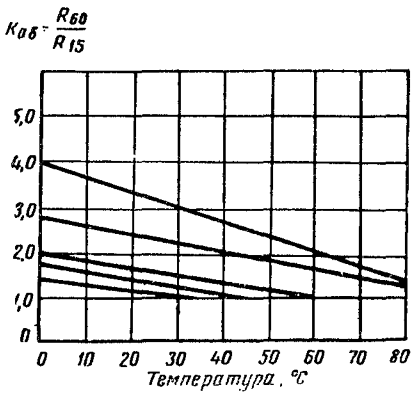


Рис. 194 Зависимость коэффициента абсорбции $K_{аб} = \frac{R_{60}}{R_{15}}$ от температуры изоляции

Переключающее устройство состоит из следующих основных частей: трехфазного переключателя, помещенного в специальном кожухе, установленного на баке трансформатора; реактора,

Таблица 24

Коэффициенты пересчета K_2

Разность температур $t_{зав} - t_{экспл}$ *град*	5	10	15	20	25	30	35
Коэффициент изменения сопротивления изоляции, K_2	1,2	1,5	1,8	2,3	2,8	3,4	4,1

помещенного в общий бак с трансформатором; приводного механизма и панели автоматики, расположенных над переключателем. Приводной механизм соединен с переключателем при помощи соединительной муфты. Схема электрических соединений переключающего устройства одной фазы (фаза *А*) трансформатора показана на рис. 195. Девять ответвлений ступенчатой об-

мотки каждой фазы трансформатора присоединяются к девяти неподвижным контактам соответствующей фазы переключателя. Конец верхней половины обмотки A_1 присоединяется к средней точке реактора A_2, концы которого A_{12} и A_{13} присоединены к двум подвижным контактам переключателя *П-1* и *П-2*, скользящим по неподвижным контактам переключателя $A_3 - A_{11}$.

Подвижные контакты полного кругового вращения не имеют.

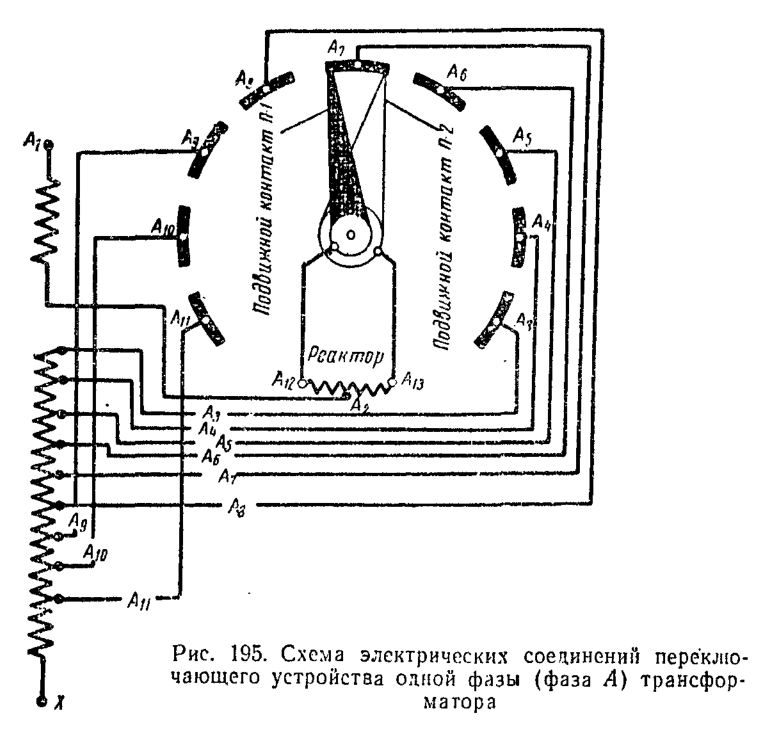


Рис. 195. Схема электрических соединений переключающего устройства одной фазы (фаза *А*) трансформатора

В нормальном рабочем положении переключателя контакты *П-1* и *П-2* находятся на одном и том же неподвижном контакте. Переключение со ступени на соседнюю ступень происходит без разрыва тока нагрузки при помощи переключающего механизма. При этом вспомогательный подвижный контакт *П-2* перемещается с неподвижного контакта (рис. 196, *а*, *б*) на соседний неподвижный контакт; витки ступени регулировки замыкаются при этом на реактор (рис. 196, *в*). Далее основной подвижный контакт сходит с неподвижного контакта (рис. 196, *г*), весь ток нагрузки проходит через цепь вспомогательного контакта, и основной подвижный контакт перемещается на соседний неподвижный контакт (рис. 196, *д*), на котором уже нахо-

дится подвижный вспомогательный. Цикл переключения со ступени на ступень при этом заканчивается и переключатель устанавливается в рабочем положении. Переключение происходит одновременно на всех трех фазах в последовательности, указанной на рис. 196. Цикл переключений с одной ступени на

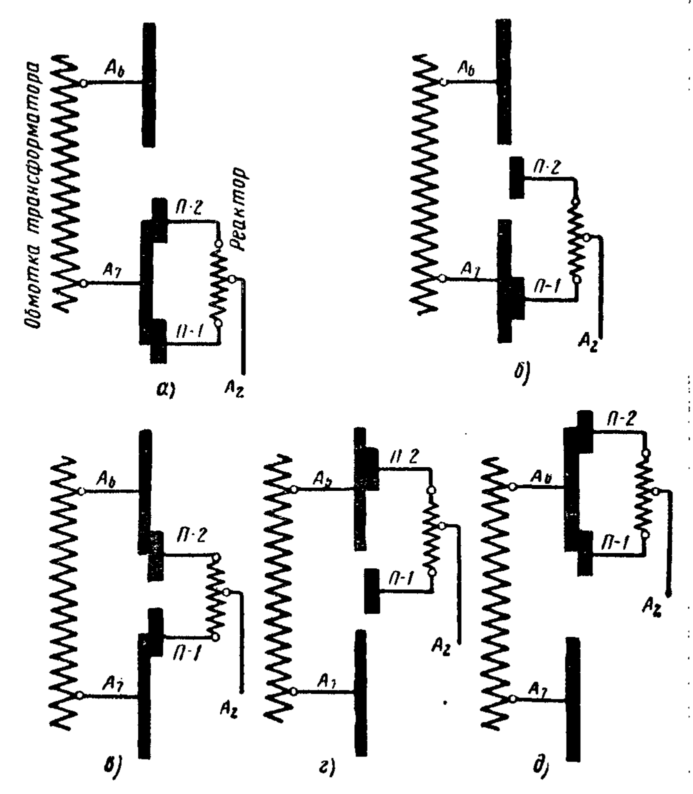


Рис. 196. Схематичное изображение процесса перемещения переключателя трансформатора из положения A_7 в положение A_6:

а — начальное положение (A_7); *б, в, г* — промежуточные положения, *д* — конечное положение (A_6)

другую, при переключении в направлении от 1 положения к 9-му, происходит в обратной последовательности: в начале от неподвижного контакта отходит основной подвижный контакт, затем он касается соседнего неподвижного и т. д.

На рис. 197 показан более простой трехфазный переключатель Московского трансформаторного завода (МТЗ) на 6—10 *кв*. У трансформаторов 1000—5600 *ква* переключатель устанавливается на выемной части.

Испытание переключающего устройства под нагрузкой заключается в проверке его механической и электрической прочности.

При испытании на механическую прочность переключающие устройства подвергают установленному числу переключений (обычно 100 полных циклов), после чего проверяют отсутствие повреждений контактов, пружин и других деталей, прочность покрытия, величину люфтов и отсутствие иных повреждений, препятствующих нормальной работе переключателей.

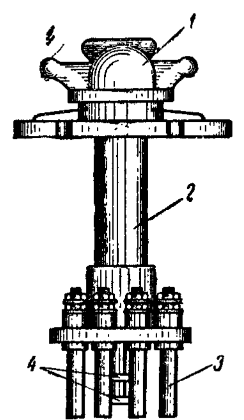


Рис. 197. Трехфазный переключатель МТЗ на 6—10 *кв*:

1 — колпак, 2 — изолирующий цилиндр, 3—контактные стержни, 4 — контактные сегменты

Кроме того, проверяется при помощи динамометров давление контактов; величина давления должна удовлетворять установленным нормам. Определение разрыва контактов производится сигнальной лампой, включенной последовательно с контактами или с помощью щупа толщиной 0,1—0,2 *мм*.

Механически испытания должны производиться до испытания электрической прочности для выявления во время электрических испытаний возникших механических повреждений (изломы, трещины) отдельных изоляционных узлов. До электрических испытаний переключатель подвергают сушке в установленном режиме. После сушки подтягивают все болты и гайки.

Электрические испытания заключаются в проверке электрической прочности изоляции: между контактами ответвлений одной фазы; между фазами; между всеми контактами и осью переключателя; изолированной части оси переключателя.

Испытания производятся приложенным напряжением по той же методике, что и испытание изоляции трансформаторов (табл. 30) при частоте переменного тока 50 *гц* в течение 1 *мин*. Переключатели для трансформаторов 154 *кв* и выше испытывают в нагретом до 80÷90° трансформаторном масле, имеющем электрическую прочность не ниже 30 *кв*. Переключатели трансформаторов напряжением ниже 154 *кв* испытывают в ненагретом трансформаторном масле с предварительной выдержкой в этом масле до прекращения выделения пузырьков воздуха из масла. Переключатель считается выдержавшим испытание приложенным напряжением, если не произошло пробоя или перекрытия его изоляции или частичных разрядов в масле.

В качестве примера приводим описание наладки переключающего устройства РНТ-9, предназначенного для регулирова-

ния напряжения под нагрузкой трехфазного трансформатора, при помощи изменения числа включенных витков его обмотки. Аппаратура переключающего устройства рассчитана на номинальное напряжение 10 или 35 *кв*, рабочий ток до 150 *а* и допускает изменение напряжения в пределах девяти ступеней.

Управление процессом переключения может производиться автоматически, с подачей импульсов реле напряжения, или дистанционно от универсального переключателя на щите управления. Переключатель может быть приведен в действие также от универсального переключателя местного управления на трансформаторе или же от рукоятки ручного привода.

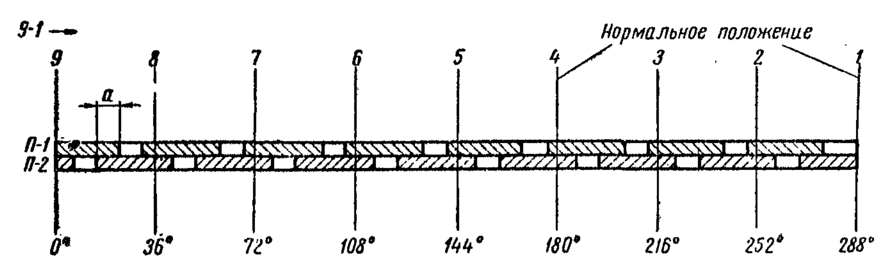


Рис. 198. Круговая диаграмма переключения одной фазы:
П-1 — верхний подвижной контакт, *П-2* — нижний подвижной контакт; *a* — мост между подвижными контактами, равный 6°, но не менее 3°

Снятие круговой диаграммы переключателя. Перед включением нового трансформатора в работу, а также во время каждой проверки трансформатора, но не реже, чем через каждые 5000 переключений, необходимо снять круговую диаграмму переключений. Снятие диаграммы переключений перед включением в работу нового трансформатора производится без выемки переключателя из бака. Для этой цели достаточно слить масло из бака переключателя, открыть люки из боковых стенок бака и снять заглушку на дне бака.

Диаграмма переключения определяет последовательность срабатывания контактов в зависимости от угла поворота вала и указывает степень изношенности контактов переключателя. Диаграмма снимается при ручном переключении.

Примерный вид круговой диаграммы переключения для одной фазы приведен на рис. 198.

При снятии диаграммы отмечают угол поворота вала переключателя в момент касания или размыкания контактов, а также нормальное положение переключателя; к свободному концу вертикального вала переключателя, находящемуся под нижним его фланцем, прикрепляют с помощью болта и гайки с резьбой М12 металлический диск с приклеенной к нему пресс-

шпановой или бумажной круговой шкалой, разделенной на 360°. Шкала для снятия круговой диаграммы переключателя РНТ-9 показана на рис. 199.

Для отсчета угла поворота вала переключателя служит риска, нанесенная на нижнем фланце переключателя, или же неподвижная стрелка, прикрепленная к нижней части цилиндра

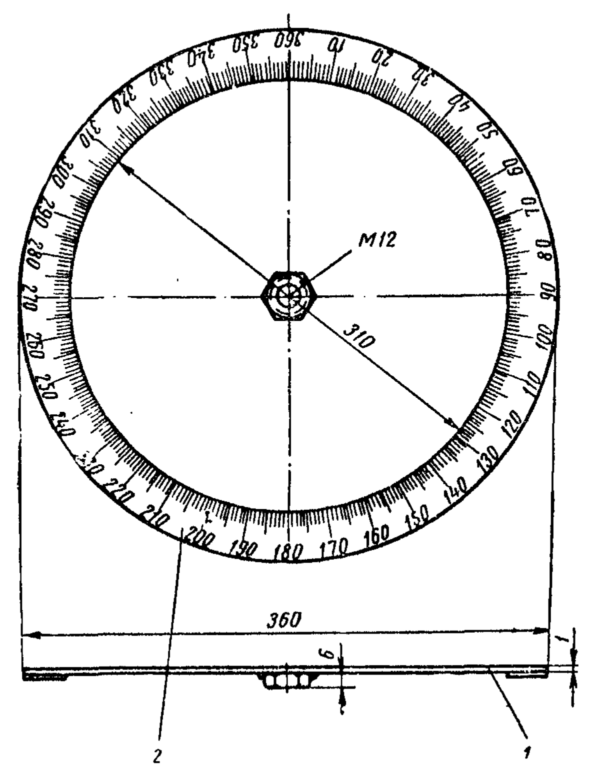


Рис. 199. Шкала для снятия круговой диаграммы переключателя РНТ-9:

1 — стальной диск, *2* — шкала (ватман)

переключателя. Для повышения точности отсчета плоскость шкалы должна быть перпендикулярна оси вала переключателя.

Диаграмму переключения необходимо снимать на каждой фазе отдельно во всех положениях переключателя при вращении шестерни, сцепленной с шестерней электродвигателя, по часовой стрелке (движение от *9* к *1* положению), и против часовой стрелки (движение от *1* к *9* положению), если смотреть со стороны, противоположной валу ручного привода. Замыкание и размыкание контактов, сопровождавшиеся соответственно за-

жиганием или потуханием той или иной лампы (соединенных согласно схеме на рис. 200), фиксируются на шкале и записываются в протоколе испытания.

В случае снятия диаграммы без выемки переключателя из бака достаточно отсоединить реактор от подвижных контактов переключателя и присоединить цепь сигнальных ламп, а все прочие выводы замкнуть накоротко согласно схеме на рис. 200. Кроме того, по соображениям техники безопасности закорачивают и заземляют выводы *ВН* трансформатора.

После сборки схемы по рис. 200 снимают диаграмму переключения от 1-го к 9-му положению. В нормальном положении обе лампы горят. Начинают медленно вращать шестерню до момента затухания лампы, соединенной с верхним контактом, фиксируют деление по шкале и продолжают вращать шестерню до момента повторного зажигания лампы.

После снятия отсчетов на всех ступенях одной фазы в направлении от *1* к *9* снимаются показания в направлении от 9-й к 1-й ступени.

Подобным же образом снимаются отсчеты для двух остальных фаз и строятся диаграммы переключения подобно тому, как это показано на рис. 198.

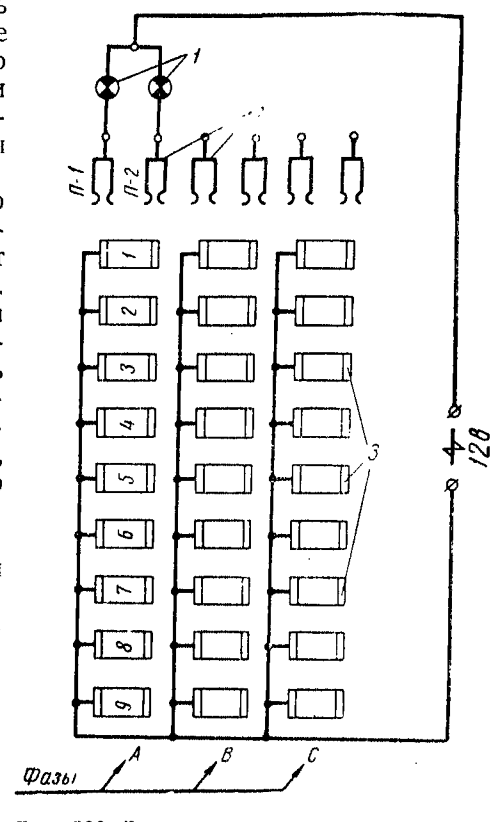


Рис. 200. Развернутая схема переключателя РНТ-9 для снятия круговой диаграммы:
1 — сигнальные лампы, *2* — подвижные контакты, *3* — неподвижные контакты

Из диаграммы определяются величины «перекрытий», т. е. величины в градусах положений моста (рис. 196, *в*). Мост, образуемый подвижными контактами *П-1* и *П-2* при замыкании двух соседних неподвижных контактов (например, отрезок *а* рис. 198), во всех положениях переключателя должен быть равен или больше 3°. Если «мост» на какой-нибудь фазе будет

меньше, необходимо убедиться в правильности снятых показаний, так как во время съемки возможна ошибка, и в случае необходимости сменить соответствующие подвижные контакты переключателя и для данного положения снова снять круговую диаграмму.

По диаграммам переключения «вперед» и «назад» одной и той же ступени можно судить о том, не нарушено ли крепление держателей подвижных контактов на валу переключателя. Последнее имеет место, если диаграмма «вперед» сильно отличается от диаграммы «назад».

После снятия диаграммы необходимо тщательно осмотреть контактную систему переключателя, проверить контакты, состояние пружин, гаек и контргаек, штифтов, удерживающих контакты, осмотреть вал и пр. Кроме того, необходимо проверить давление пружин, подвижных и отводящих контактов. Давление контактов должно быть от 3 до 4 *кг* в точках касания контактов. Если давление на контактах переключателя отличается от вышеуказанных, то необходимо его отрегулировать.

После осмотра и замены обгоревших подвижных контактов вновь проверяется перекрытие контактов (рис. 196).

Повторное определение перекрытий необходимо для определения степени обгорания неподвижных контактов.

После указанной всесторонней проверки переключатель и механизм могут быть поставлены на свое место, а бак переключателя залит маслом. Время нахождения на воздухе аппаратуры переключающего устройства не должно превышать 12 *час* при относительной влажности не более 60% и 8 *час* при относительной влажности не более 75%, в противном случае аппаратура должна быть просушена в масле.

Снятая круговая диаграмма не должна отличаться от заводской.

Измерение сопротивления изоляции доступных стяжных болтов и ярмовых балок. Указанное измерение производится при осмотре выемной части трансформатора. Величина сопротивления изоляции стяжных болтов и ярмовых балок не нормируется, обычно она колеблется от 2—3 до 10—20 *Мом*. Меньшие значения сопротивления изоляции относятся к трансформаторам 3—10 *кв*, а бóльшие — к трансформаторам 110 *кв* и выше. Согласно нормам испытания не допускается снижение сопротивления изоляции более чем на 50% от исходных величин, при большем снижении необходимо выяснить и устранить причину снижения.

Повреждаются часто изолирующие шайбы непосредственно под гайками, или изолирующая трубка, надеваемая на стяжной болт, в месте выхода из пакета стали. Заусенцы у краев отверстия при затяжке болта обычно прорезают изоляцию трубки.

При нарушении изоляции стяжных болтов возможен, так называемый, пожар стали магнитопровода. При соединении болта с сердечником в двух точках может образоваться короткозамкнутый контур, в котором магнитный поток наводит большие токи, могущие нагреть болт до высокой температуры и вызвать выгорание стали магнитопровода. Измерение сопротивления изоляции доступных стяжных болтов и ярмовых балок производится мегомметром напряжением 1000—2500 *в* относительно магнитопровода.

Испытание изоляции доступных стяжных болтов и консолей повышенным напряжением производится, если имеет место осмотр выемной части трансформатора. Величина испытательного напряжения промышленной частоты составляет 1000 или 2500 *в* постоянного тока. Продолжительность испытания 1 *мин.*

При испытании один полюс испытательного трансформатора заземляется, а другой присоединяется к стяжному болту заземленного магнитопровода. Если изоляция болта исправна, то стрелка вольтметра не колеблется. При плохой изоляции напряжение сильно понижается, при полном замыкании стяжного болта на корпус (магнитопровод) — напряжение падает до нуля.

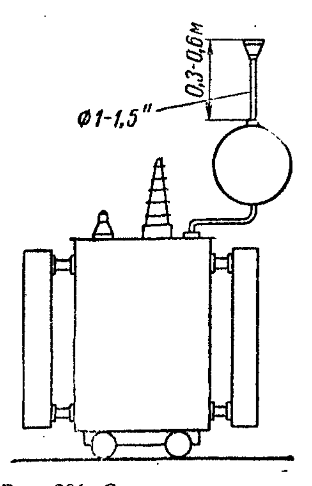


Рис. 201. Схема проверки герметичности бака трансформатора

Испытание баков с радиаторами на плотность производят избыточным давлением одним из следующих методов: испытание столбом масла; испытание давлением сухого воздуха или инертного газа, нагнетаемого под крышку трансформатора (залитого маслом); испытание давлением сухого воздуха или инертного газа, нагнетаемого под крышку трансформатора (не залитого маслом).

Для испытания столбом масла на крышке трансформатора герметично устанавливают трубку диаметром 1—1,5 дюйма соответствующей высоты, которую (через воронку) заливают маслом (рис. 201). Для испытания бака трансформатора давлением воздуха или инертного газа к одному из патрубков на крышке бака присоединяют герметично шланг насоса и устанавливают прибор для контроля давления.

При приемно-сдаточных испытаниях герметичность бака, радиаторов, расширителя и всех уплотнений трансформатора проверяется в течение 15 *мин* гидравлическим давлением столба

масла, равного: для трубчатых и гладких баков — 0,6 *м*; для волнистых и радиаторных баков — 0,3 *м*.

Бак трансформатора считается выдержавшим испытание, если в сварных швах и уплотнениях бака не обнаружено течи масла или не произошло снижения первоначально установленного уровня давления сверх допустимого.

Радиаторы подобным же образом испытываются на механическую прочность повышенным давлением до их установки на

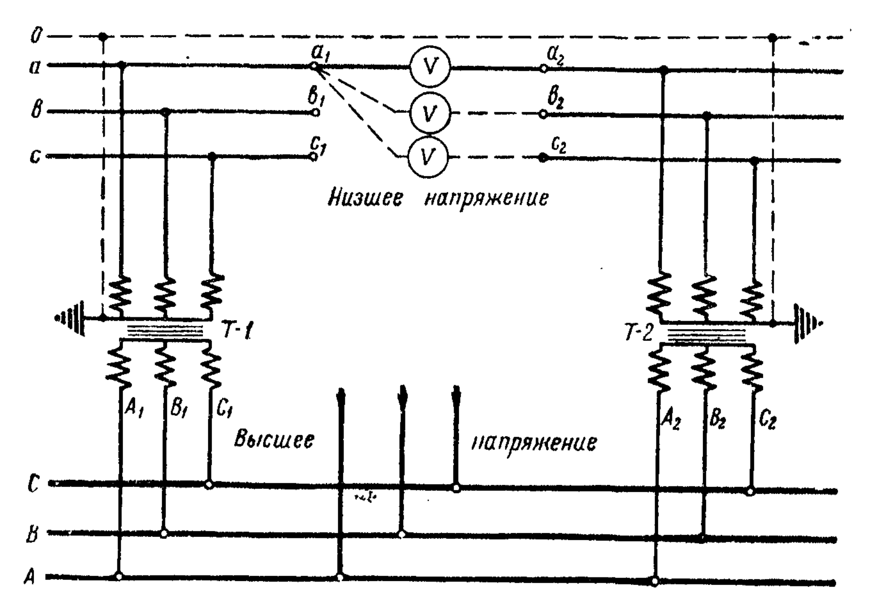


Рис. 202. Фазировка трансформатора на низком напряжении при заземленной нейтрали

трансформаторе. На время испытания отверстие дыхательной трубки расширителя должно быть закрыто.

После проверки герметичности бака и уплотнений проверяется сообщаемость расширителя с баком трансформатора и исправность соединительного патрубка между ними. Для этого из залитого доверху расширителя сливается через нижний кран трансформатора часть масла до нормального уровня при данной температуре.

Ф а з и р о в к а т р а н с ф о р м а т о р о в. Фазировкой трансформаторов называют проверку совпадения по фазе вторичных напряжений у двух трансформаторов, присоединенных с первичной стороны к одной и той же сети. Перед фазировкой требуется выяснить, к каким группам соединений принадлежат

фазируемые трансформаторы. Как правило, трансформаторы подлежат фазировке перед первым включением на параллельную работу, при перестановке с одного места на другое, после прокладки новых кабелей к трансформатору и т. д. Трансформаторы можно фазировать как непосредственно между собой, так и с сетью. Между фазируемыми трансформаторами разность напряжений не должна превышать 10%. Обычно, фазировка производится на низшем напряжении трансформаторов (рис. 202).

Вначале проверяется симметричность подведенных для фазировки напряжений, т. е. для каждой из фазируемых сторон в отдельности. Затем находят попарно концы, между которыми нет разности напряжения, и измеряют напряжение между каждым из концов с одной стороны и двумя разноименными с другой, т. е. всего делают шесть измерений. Все шесть измерений должны показать одинаковые напряжения.

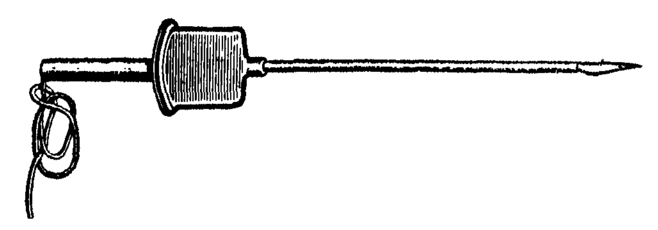


Рис. 203. Внешний вид измерителя напряжения Ц345

Трансформаторы, имеющие обмотку низшего напряжения до 380 *в* включительно, должны, как правило, фазироваться при помощи вольтметра, токоискателя типа ТИ-2 (см. рис. 151) и измерителя напряжения тока Ц345 (рис. 203). В ряде случаев пользуются лампами накаливания. Обмотки низшего напряжения фазируемых трансформаторов предварительно соединяют в одной точке для получения замкнутого электрического контура при производстве измерений. У трансформаторов с заземленной нейтралью на обмотке низшего напряжения таким соединением является соединение нейтралей через землю. При отсутствии заземления нейтралей у обоих или у одного трансформатора перед фазировкой соединяют любые два зажима.

При фазировке двух трансформаторов с заземленными нейтралями (рис. 202) получаются три измерения с нулевыми показателями. Если сфазированные концы расположены друг против друга, производится включение трансформаторов на параллельную работу, в противном случае производится пересоединение подводящих концов фазируемого трансформатора и вторичная фазировка; если измерений с нулевыми показаниями нет и оба трансформатора соединены по схеме звезда — звезда, то

меняют местами начала и концы фаз у одной из обмоток фазируемого трансформатора и повторяют фазировку. Если измерений с нулевыми показаниями нет и оба трансформатора относятся к нечетной группе, то в этом случае фазировка возможна при условии перекрещивания любых двух фаз со стороны питания у фазируемого трансформатора. Если нулевых показаний нет и трансформаторы имеют соединения: один звезда — звезда, а другой звезда — треугольник или треугольник — звезда, то параллельная работа невозможна.

Все приборы для фазировки при незаземленной нейтрали должны быть рассчитаны на двойное линейное напряжение.

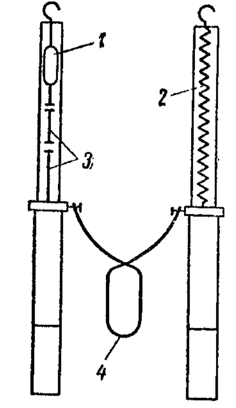
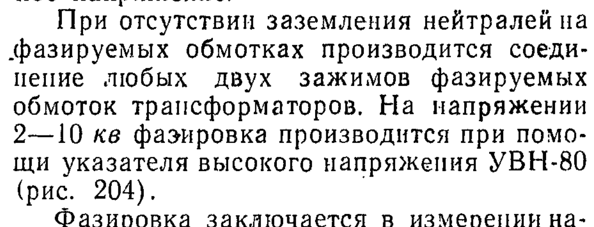


Рис. 204. Фазировка трансформатора на напряжении 2—10 *кв*:

1 — неоновая лампочка, *2* — сопротивление 4—7 *Мом*, *3* — конденсаторы, *4* — провод «Магнето»


При отсутствии заземления нейтралей на фазируемых обмотках производится соединение любых двух зажимов фазируемых обмоток трансформаторов. На напряжении 2—10 *кв* фазировка производится при помощи указателя высокого напряжения УВН-80 (рис. 204).

Фазировка заключается в измерении напряжения между зажимами с одной стороны и двумя (или тремя) разноименными зажимами — с другой стороны и попарном нахождении концов, между которыми нет разности потенциалов.

На обмотках 10 *кв* и выше фазировка производится через измерительные трансформаторы напряжения на обеих системах шин (рис. 205). Такая фазировка производится следующим образом. Вначале фазируются между собой трансформаторы напряжения первой и второй систем шин при включенном шиносоединительном выключателе.

Сфазированные зажимы трансформаторов напряжения снабжаются четко написанными бирками. После этого шиносоединительный выключатель отключается и на резервную (вторую) систему шин включается трансформатор, подлежащий фазировке; фазировка силовых трансформаторов производится через трансформаторы напряжения. При наличии нулевых показаний между ранее сфазированными зажимами измерительных трансформаторов фазировка считается законченной.

Трехобмоточные трансформаторы фазируются на двух обмотках при включенной третьей (питающей) обмотке. Методы фазировки те же, что и для двухобмоточных трансформаторов.

Испытание включением толчком на номинальное напряжение. Включение трансформатора после

монтажа производится обычно подачей напряжения толчком и только трансформаторы, работающие в блоке с генератором, включаются медленным подъемом напряжения с нуля.

Перед включением трансформатора в сеть производится проверка действия всей установленной защиты: газовой, максимальной, дифференциальной и других, а также действие механизмов и блокировки включения и отключения масляных или воздушных выключателей. Проверяются также показания всех установленных термометров, уровень масла в расширителе и его сообщаемость с баком, отсутствие воздуха в газовом реле, соответствие указателей положения всех переключателей, дей-

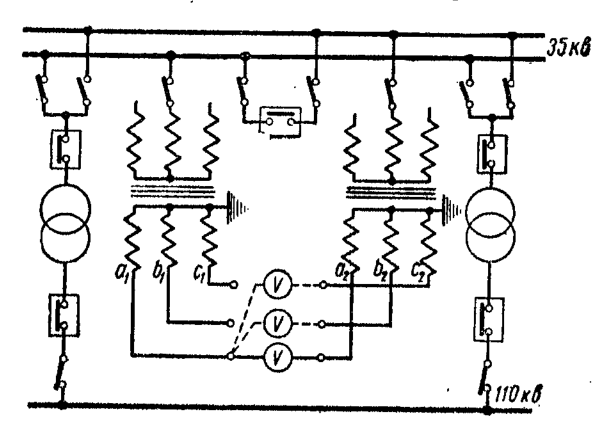


Рис. 205. Схема фазировки трансформатора на напряжении 10 *кв* и выше

ствие всех радиаторных кранов, отсутствие посторонних предметов на трансформаторе, заземление бака, отсутствие течей масла.

Включение трансформатора под напряжение производится с той стороны, где установлена защита, чтобы при наличии неисправности в трансформаторе он мог быть отключен. При наличии газовой защиты, с этой же целью следует присоединить цепь сигнальных контактов газового реле на отключение трансформатора от источников его питания, а максимальную защиту установить с нулевой выдержкой времени.

Испытание включением трансформатора толчком предусматривает 5-кратное включение на полное номинальное напряжение, с последующей выдержкой не менее 30 *мин* с тем, чтобы произвести тщательное прослушивание и наблюдение в целях обнаружения возможных дефектов. При удовлетворительных результатах трансформатор может быть включен под нагрузку и сдан в эксплуатацию.

Следует помнить, что перед включением трансформатора в работу производятся следующие испытания и проверки:

1) масла после доливки и отстоя в течение не менее 6—10 *час* на пробой, химический анализ и определение тангенса угла диэлектрических потерь ($\operatorname{tg}\delta$);

2) проверка коэффициента трансформации на всех ступенях переключения;

3) измерение сопротивления изоляции обмоток;

4) измерение сопротивления обмоток постоянному току на всех ответвлениях с проверкой правильности установки указателя положений и стопорных болтов головок переключателей;

5) проверка группы соединения обмоток у трехфазного трансформатора и полярности у однофазных;

6) измерение потерь холостого хода;

7) испытание изоляции повышенным напряжением, при наличии испытательного трансформатора. Причем пункты 6 и 7 не обязательны для трансформаторов напряжением до 35 *кв* и мощностью до 560 *ква* включительно.

§ 2. ИСПЫТАНИЕ ИЗОЛЯЦИИ

Определение увлажненности изоляции и тангенса угла диэлектрических потерь. Существует несколько способов определения увлажненности изоляции. Наиболее распространенными являются методы «емкость-частота» и «емкость-температура», а также измерение тангенса угла диэлектрических потерь.

Метод «емкость-частота» основан на измерении емкости обмоток трансформаторов в зависимости от частоты. Исследования показали, что степень увлажнения обмоток может быть установлена измерением их емкости при постоянной температуре, но при разных частотах — 50 и 2 *гц*.

Обмотки с повышенной влажностью изоляции имеют отношение емкостей, измеренных при частотах 2 и 50 *гц*, близкое к 2, в то время как у сухих обмоток это отношение близко к единице. Измерения производятся при температуре не ниже $+10°$.

Измерения емкости обмоток при различных частотах производятся при помощи специального прибора контроля влажности изоляции ПКВ между каждой обмоткой и корпусом при заземленных свободных обмотках (рис. 58).

Отношение емкостей обмоток $\frac{C_2}{C_{50}}$, где C_2 — емкость обмоток, измеренная при частоте 2 *гц*, а C_{50} — при частоте 50 *гц*, не нормируется. В табл. 25 приведены значения отношений $\frac{C_2}{C_{50}}$, которыми руководствуются при вводе трансформаторов в эксп-

луатацию, а в табл. 26 — несколько большие величины отношения $\frac{C_3}{C_{50}}$, допустимые в условиях эксплуатации.

Таблица 25

Допустимые значения отношения емкостей обмоток $\frac{C_2}{C_{50}}$ при вводе трансформаторов в эксплуатацию

Высшее напряжение обмотки трансформаторов, *кв*	Отношения $\frac{C_2}{C_{50}}$ при температурах, *град*		
	10	20	30
35 и ниже	1,1	1,2	1,3
110 и выше	1,05	1,15	1,25

Таблица 26

Допустимые значения отношений емкостей обмоток $\frac{C_2}{C_{50}}$ в условиях эксплуатации трансформаторов

Высшее напряжение обмотки трансформатора, *кв*	Отношение $\frac{C_2}{C_{50}}$ при температурах, *град*						
	10	20	30	40	50	60	70
35 и ниже	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
Выше 35	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7

Приведенные в табл. 25 и 26 значения емкости при измерениях с маслом справедливы при условии, если $\operatorname{tg}\delta$ масла в трансформаторе не превышает 1% при 20—25°.

Вводы испытываемого объекта должны быть очищены от пыли и грязи.

Зависимость коэффициента емкости при двух частотах $K_c = \frac{C_2}{C_{50}}$ от температуры изоляции приведена на рис. 206.

Метод «емкость-температура», предложенный Московским трансформаторным заводом, основан на том, что емкость сухой изоляции с ростом температуры почти не изменяется. Емкость увлажненной изоляции с повышением температуры растет. О степени увлажнения изоляции судят по изменению емкости в зависимости от температуры в интервале 10—80°.

Емкость измеряют при температурах обмоток 70 и 20° между каждой обмоткой и корпусом при заземленных остальных обмотках. Все доступные вводы должны быть соединены между собой.

О состоянии изоляции обмоток судят по величине отношения $\frac{C_{гор}}{C_{хол}}$, где $C_{гор}$ — емкость, измеренная методом переменного тока при температуре не ниже 70°, $C_{хол}$ — при температуре на 50° ниже температуры измерения $C_{гор}$.

В обоих случаях может быть взята емкость, вычисленная при измерениях tg δ.

Температуру нагрева обмоток трансформаторов напряжением 110 *кв* и выше определяют по результатам измерения сопротивления обмоток по формуле

$$t_2 = \frac{R_2}{R_1}(t_1 + 235) - 235,$$

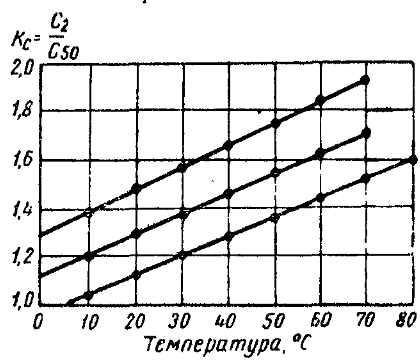


Рис. 206. Зависимость коэффициента емкости при двух частотах измерения $K_c = \frac{C_2}{C_{50}}$ от температуры изоляции

где R_1 — сопротивление обмотки при температуре t_1°, *ом*;

R_2 — сопротивление той же обмотки в нагретом состоянии до t_2°, *ом*.

За температуру обмоток трансформаторов напряжением ниже 110 *кв* допускается принимать температуру верхних слоев масла, уменьшенную на 15% (у маслонаполненных), или измеряют ее непосредственно термометром.

Обмотка считается неувлажненной, если:

$$\frac{C_{гор}(70°)}{C_{гор}(20°)} \leqslant 1,2.$$

Московский трансформаторный завод считает изоляцию неувлажненной, если

$$\frac{C_{80} - C_{20}}{C_{20}} \cdot 100 \leqslant 20\%.$$

При отсутствии специальных приборов для измерения емкости обмоток трансформатора ее можно измерить двумя вольтметрами (метод амперметра — вольтметра), используя вместо амперметра вольтметр с известным внутренним сопротивлением. Емкость при этом определяется по формуле

$$C = \frac{I}{2\pi f U} = \frac{I \cdot 10^6}{U \cdot 314}\ мкф,$$

где I — ток, *а*;

U — напряжение, *в*.

Миллиамперметр включается обязательно между испытуемым и испытательным трансформаторами (рис. 207), а не между землей и испытательным трансформатором, как это иногда делают, так как при этом возможны погрешности, обусловленные собственной емкостью испытательного трансформатора. Емкость силовых трансформаторов в холостом состоянии колеблется в пределах 1000 ÷ 10 000 *пф*.

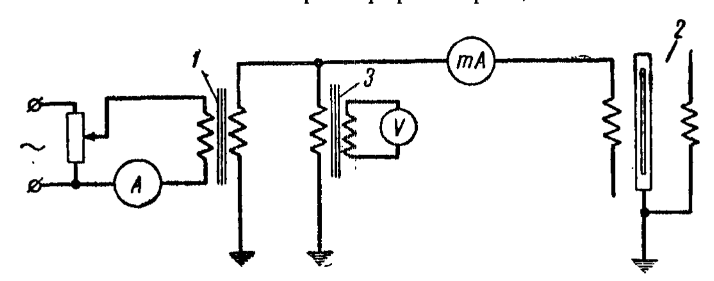


Рис. 207. Схема измерения емкости обмоток трансформатора:
1 — испытательный трансформатор, *2* — испытуемый трансформатор, *3* — трансформатор напряжения

Измерение тангенса угла диэлектрических потерь обмоток и вводов согласно существующим руководящим указаниям обязательно лишь для трансформаторов напряжением 20 *кв* и выше. Это испытание служит одним из критериев для определения степени увлажнения обмоток и вводов.

Принципиальные схемы измерения угла диэлектрических потерь обмоток и вводов при помощи так называемой «перевернутой» схемы емкостного моста приведены на рис. 1 и 208. Эта схема дает возможность производить испытание без снятия вводов с трансформатора. Угол диэлектрических потерь обмоток измеряется между каждой обмоткой и корпусом при заземленных свободных обмотках. Измерение тангенса угла диэлектрических потерь вводов должно производиться накладным электродом после монтажа вновь вводимых трансформаторов.

Для трансформаторов, залитых маслом, измерение произво-

дится при переменном напряжении промышленной частоты, не более 60% заводского испытательного напряжения данной обмотки, но не выше 10 *кв*.

Измерение tg δ на трансформаторах без масла производится при напряжении не выше 10 *кв* для обмоток с номинальным напряжением 35 *кв* и выше и 0,3 $U_{ном}$ — для обмоток с номинальным напряжением ниже 35 *кв*. Допускается производить измерения tg δ и на низком напряжении.

При испытаниях главной изоляции трансформаторов (между обмотками, между обмоткой и баком), поскольку емкость при измерениях на переменном токе велика, диэлектрические потери характеризуют собой общее состояние изоляции и главным образом увлажнение твердой изоляции и дефектность масла. Измеряемые диэлектрические потери составляют сумму диэлектрических потерь твердой изоляции и масла. При повышении диэлектрических потерь изоляции трансформаторов до значений, выше установленных нормами, для правильной оценки состояния твердой изоляции необходимо произвести измерение диэлектрических потерь масла.

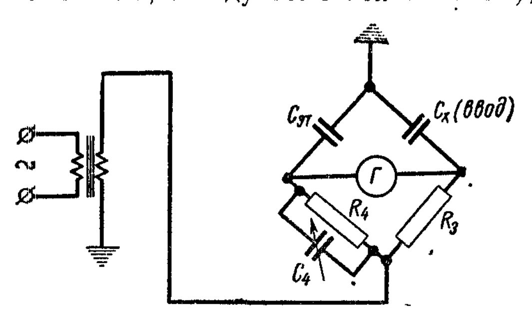


Рис. 208. Принципиальная схема измерения угла диэлектрических потерь обмоток и вводов трансформатора

При необходимости применения накладных электродов они накладываются на ввод возможно дальше от головки, между ребрами фарфоровой покрышки, на первый и второй интервалы от фланца при напряжении 35 *кв* и на второй и третий интервалы — при напряжении 110 *кв*. Ширина электрода определяется максимально допустимым расстоянием между «юбками» ввода.

В качестве электродов может быть использована:

а) станиолевая фольга, накладываемая на тело ввода с подмазкой трансформаторным маслом; фольга должна быть тщательно разглажена;

б) графитированная холстина или листовая резина с нанесенным слоем графита;

в) мелкая медная сетка (сетчатый электрод).

Измерение следует производить, включив измерительное устройство по нормальной схеме (мост МД-16). Величина испытательного напряжения, приложенного к вводу (двум параллельно включенным электродам при заземленном фланце), не должна превышать 10 *кв*. Не допускается производить измере-

ние с помощью накладного электрода при сырой погоде или при загрязненной поверхности ввода.

Если измерения с помощью накладного электрода дают повышенные значения угла диэлектрических потерь, то перед окончательной отбраковкой с целью контроля необходимо произвести измерение при полном отсоединении ввода от обмотки.

Для трансформаторов напряжением 35 *кв* и выше, транспортируемых с маслом, но без расширителя, величина тангенса угла диэлектрических потерь обмоток перед вводом в эксплуатацию не должна составлять более 1,3 величины $\operatorname{tg}\delta$ измеренной на заводе. Значения тангенса угла диэлектрических потерь, указанные в заводском протоколе, необходимо привести к температуре измерения при монтаже путем деления величины $\operatorname{tg}\delta$, указанной в протоколе, на коэффициент изменения K_1 (коэффициент температурного пересчета), определяемого по табл. 27.

Таблица 27

Изменения коэффициента K_1 в зависимости от разности температур при измерениях на заводе и монтаже *

Разность температур $t_{зав}$—$t_{монт}$	5	10	15	20	25	30	35
Коэффициент изменения $\operatorname{tg}\delta$, K_1	1,15	1,3	1.5	1,7	1,9	2,2	2,5

* t_2 — низшая из температур, указанных в заводском протоколе ($t_{зап}$).
t_1 — температура при измерениях на монтаже ($t_{монт}$).

Пример. Данные заводского протокола: $\operatorname{tg}\delta = 0{,}9\%$ при 35°. Температура изоляции трансформатора при измерении на монтаже +20°: $t_2 - t_1 = 15°$. $K_1 = 1{,}5$ (по табл. 27). Величина $\operatorname{tg}\delta$, приведенная к 20°: $\operatorname{tg}\delta = \frac{0{,}9}{1{,}5} = 0{,}6\%$; $\operatorname{tg}\delta$ на монтаже не должен превышать 130% этого значения, т. е. он должен быть не выше $0{,}6 \cdot 1{,}3 = 0{,}78\%$.

Примечание. Если в заводском протоколе приведены температурные зависимости $\operatorname{tg}\delta$ для каждой из обмоток данного трансформатора, то температурный пересчет производится согласно этим зависимостям.

Для трансформаторов напряжением до 35 *кв* включительно, транспортируемых с маслом и с расширителем, величины $\operatorname{tg}\delta$ обмоток при вводе в эксплуатацию не должны превосходить значений, приведенных в табл. 28.

Приведенные в табл. 28 значения $\operatorname{tg}\delta$ обмоток при измерениях с маслом верны в том случае, если $\operatorname{tg}\delta$ масла не превышает 1% при 20—25°.

В условиях эксплуатации величины $\operatorname{tg}\delta$ обмоток не должны превосходить значений, приведенных в табл. 29.

Таблица 28

Допустимые значения $\operatorname{tg}\delta$ при вводе трансформаторов в эксплуатацию

Номинальное напряжение трансформатора, *кв*	Значения $\operatorname{tg}\delta$ (%) при температурах, *град*						
	10	20	30	40	50	60	70
35 и ниже	1,5	2	3	4	6	7	11,5

Таблица 29

Допустимые значения $\operatorname{tg}\delta$ в эксплуатации

Номинальное напряжение трансформатора, *кв*	Значения $\operatorname{tg}\delta$ (%) при температурах, *град*						
	10	20	30	40	50	60	70
35 и ниже	2,5	3,5	5,5	8,0	11	15	20
Выше 35	2	2,5	4	6	8	12	16

Испытание электрической прочности изоляции обмоток трансформаторов повышенным напряжением. Целесообразность указанного испытания диктуется, с одной стороны, тем, что проверка изоляции трансформатора номинальным напряжением недостаточна, так как для нормальной долголетней работы необходимо обеспечить некоторый запас его электрической прочности, а с другой стороны во время эксплуатации возможны кратковременные повышения напряжения, вызываемые коммутационными перенапряжениями при включениях и отключениях трансформаторов, линий электропередачи и других элементов схемы, а также атмосферными явлениями.

Испытание электрической прочности главной изоляции обмоток трансформатора производится по схеме, изображенной на рис. 209.

При испытании выводы испытуемой обмотки трансформатора *4* замыкают накоротко и присоединяют к испытательному трансформатору *1*. Выводы другой обмотки также закорачивают накоротко и вместе с баком трансформатора *7* или магнитопроводом у трансформаторов с естественным воздушным охлаждением (сухих) заземляют. Испытанию подвергается изоляция каждой из обмоток одного напряжения, электрически не связанной с обмотками других напряжений. Испытательное напряжение прикладывается между испытуемой обмоткой *4*, замкнутой накоротко, и заземленным баком *7*, с которым соединяются магнитная система и замкнутые накоротко все прочие обмотки испытуемого трансформатора. Длительность приложения испы-

тательного напряжения 1 *мин.* Вначале подвергается испытанию обмотка низшего напряжения, а затем обмотки среднего и высшего напряжений. Один вывод испытательного трансформатора заземлен и, следовательно, все точки испытуемой обмотки находятся под одним и тем же потенциалом относительно земли. Напряжение к первичной обмотке испытательного трансформатора подводится от генератора переменного тока с регулируемым возбуждением или от регулировочного автотранс-

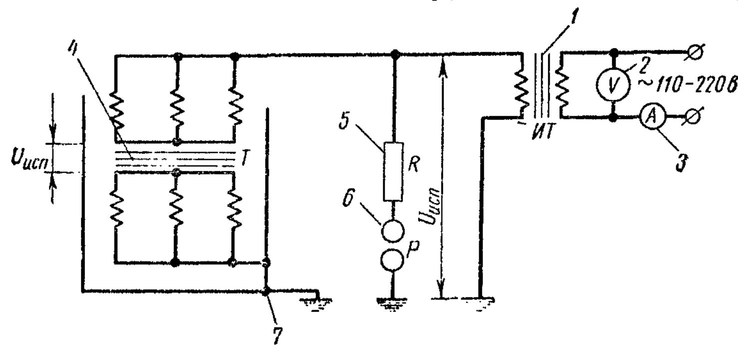


Рис. 209. Схема испытаний электрической прочности изоляции обмоток трансформаторов повышенным напряжением переменного тока:

1 — испытательный трансформатор, *2* и *3* - вольтметр и амперметр класса точности не ниже 0,5, *4* — испытуемый трансформатор, *5* — активное сопротивление для ограничения тока к. з. при пробое изоляции, *6* — шаровой разрядник на напряжение, равное 115—120% испытательного, *7* — кожух трансформатора

форматора. Величина испытательного напряжения главной изоляции трансформатора вместе с вводами зависит от класса изоляции и приводится в табл. 30.

Таблица 30

Величины испытательного напряжения в зависимости от класса изоляции

Вид испытания	Номинальное напряжение (класс изоляции), *кв*										
	3	6	10	15	20	35	60	80	110	150	220
Заводское испытание	18	25	35	45	55	85	125	165	200	275	400
При вводе в эксплуатацию новых трансформаторов	15	21	30	38	47	72	105	140	195	272	390

Указанному испытанию обычно подвергаются только трансформаторы напряжением 35 *кв* и ниже. При напряжении выше 35 *кв* испытание проводится только при наличии испытательных установок на месте. Согласно ПУЭ допускается также применять испытательные напряжения, составляющие 75% соответ-

ствующего заводского испытательного напряжения. Продолжительность испытания 1 *мин.*

Перед включением испытательного напряжения рекомендуется измерить сопротивление изоляции испытуемой обмотки с помощью мегомметра на 1000—2500 *в* для предварительного заключения об отсутствии каких-либо существенных дефектов в изоляции обмотки трансформатора.

Согласно ГОСТ 1516—60 скорость подъема приложенного напряжения при испытании внутренней изоляции трансформатора до 40% испытательного может быть произвольной; дальнейшее повышение напряжения должно производиться плавно, величину его устанавливают по вольтметру *2*, со скоростью около 3% испытательного в 1 *сек.* После требуемой выдержки напряжение плавно снижают в течение около 5 *сек* до величины в 25% или менее испытательного. Затем отключают установку.

При испытании изоляции трансформаторов на электрическую прочность необходимо оставлять открытым расширитель или дыхательную трубку. Внутренняя изоляция масляных трансформаторов считается выдержавшей испытание на электрическую прочность, если при испытании не наблюдалось пробоя или частичных нарушений изоляции, отмечаемых по звуку разрядов в баке, выделению газа или дыма и по показаниям приборов, например амперметра, вольтметра. Измерение испытательного напряжения производится вольтметром или с помощью шарового разрядника. При измерении напряжения $U_{исп}$ по способу вольтметра измеряют напряжение на стороне низшего напряжения испытательного трансформатора *1* (рис. 209) и умножают полученную величину на коэффициент трансформации испытательного трансформатора *ИТ*.

• Пример. Номинальное напряжение обмотки *ВН* испытательного трансформатора 36 000 *в*, а обмотки *НН* 380 *в*. Для получения испытательного напряжения 30 000 *в* к первичной обмотке испытательного трансформатора следует подвести напряжение $30\,000 : \frac{36\,000}{380} = 316$ *в*.

При испытании мощных трансформаторов напряжением 110 *кв* и выше способ вольтметра не применим, так как обмотка повышенного напряжения обладает значительной емкостью относительно остальных частей трансформатора. В этих условиях емкостный ток испытуемого трансформатора может сильно нагрузить испытательный трансформатор и в результате значительно повысить напряжение на стороне обмотки *ВН* этого трансформатора. При измерении напряжений для таких классов изоляции применяются шаровые разрядники, включаемые параллельно испытуемой обмотке (рис. 209).

Шаровой разрядник состоит из двух металлических шаров

одинакового диаметра, укрепленных надлежащим образом. Искровой промежуток разрядника представляет наименьшее расстояние между поверхностями шаров и измеряется в сантиметрах. Высокое напряжение промышленной частоты измеряется с помощью низковольтного вольтметра с зеркальным отсчетом и классом точности 0,5, проградуированного по шаровому разряднику. Низковольтный вольтметр включают на стороне низшего напряжения испытательного трансформатора непосредственно или через измерительный трансформатор. Градуировку низковольтного вольтметра производят, как правило, при включенном объекте испытания и напряжении 80—90% испытательного.

Пробивное напряжение шаровых разрядников обычно учитывается не по амплитудному значению напряжения $U_а$, а по действующему (эффективному) значению. При этом необходимо помнить, что $U_{действ}$ в киловольтах равняется $\frac{U_а}{\sqrt{2}}$, где $U_а$ — амплитудное значение напряжения переменного тока. Эти испытания действительны при атмосферном давлении 760 *мм рт. ст.* и температуре окружающего воздуха 20°.

В табл. 31 приведены некоторые часто встречающиеся данные по пробивному напряжению шарового разрядника при диаметре шара 25 *см*.

Таблица 31

Величины пробивных напряжений шаровых разрядников

Расстояние между шарами, *см*	Пробивное напряжение $U_{действ}$, *кв*, при частоте 50 *гц* и диаметре шара 25 *см*	Расстояние между шарами, *см*	Пробивное напряжение $U_{действ}$, *кв*, при частоте 50 *гц* и диаметре шара 25 *см*
1	21,9	7	130,1
1,5	31,8	10	171,8
2	41,7	11	183,9
2,6	50,9	12	194,5
3	60,8	15	222
4	79,2	20	256,7
5	96,9	25	280

В качестве испытательного трансформатора для испытания трансформаторов напряжением до 10 *кв* наиболее удобным является трансформатор ОМ-33/35 мощностью 35 *ква* с напряжением обмотки *НН* 200 *в* и обмотки *ВН* 2500—5000—9000—18 000—36 000 *в*. Схема трансформатора приведена на рис. 210. Изменение напряжения на стороне *ВН* производится переключателем со стороны *НН* или соответствующей перестановкой концов питающего кабеля: положению $a - x_1$ на низкой

стороне соответствует 36 000 *в* на высокой стороне, положению $a - x_5$ — 2500 *в*.

Для испытания трансформаторов напряжением 15 и 35 *кв* может быть применен трансформатор ИОМ-100/100 мощностью 100 *ква*, напряжением *ВН* 100 *кв* и *НН* 200 или 380 *в* (рис. 211). Для регулирования напряжения при отсутствии генератора можно применить регулировочный автотрансформатор АОСК-25/0,5 (рис. 212), присоединяемый к сети и позволяющий плавно регулировать напряжение от 0 до 220 или 380 *в*. Механизм для регулирования напряжения автотрансформатора приводится в движение или от руки специальной рукояткой, или дистанционно трехфазным электродвигателем 220/380 *в*, установленным на верхней плите регулировочного автотрансформатора.

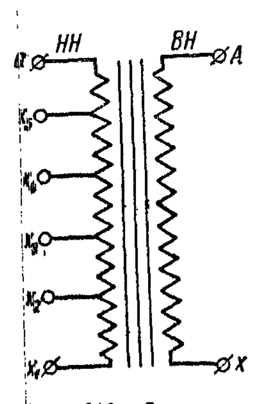
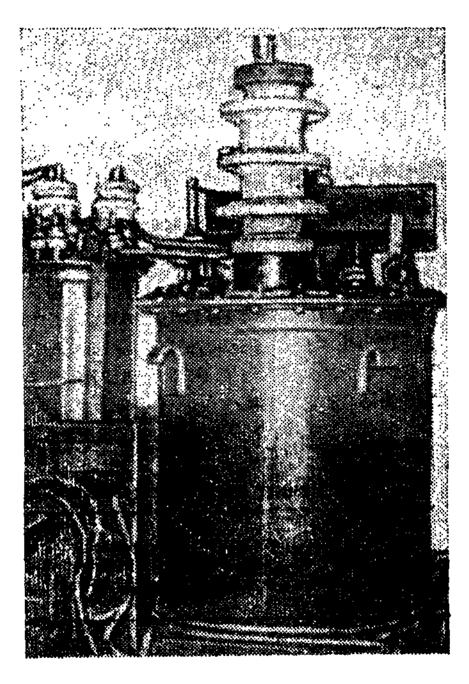


Рис. 210. Схема испытательного трансформатора ОМ-33/35


Рис. 211. Внешний вид испытательного трансформатора ИОМ-100/100

§ 3. СНЯТИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСФОРМАТОРОВ

Опыт холостого хода. При этом опыте определяются ток и потери холостого хода. Измерение потерь холостого хода позволяет проверить состояние магнитопровода. При его повреждениях, например нарушении изоляции между листами, потери холостого хода увеличиваются. Резкое увеличение тока и потерь холостого хода является показателем наличия замыка-

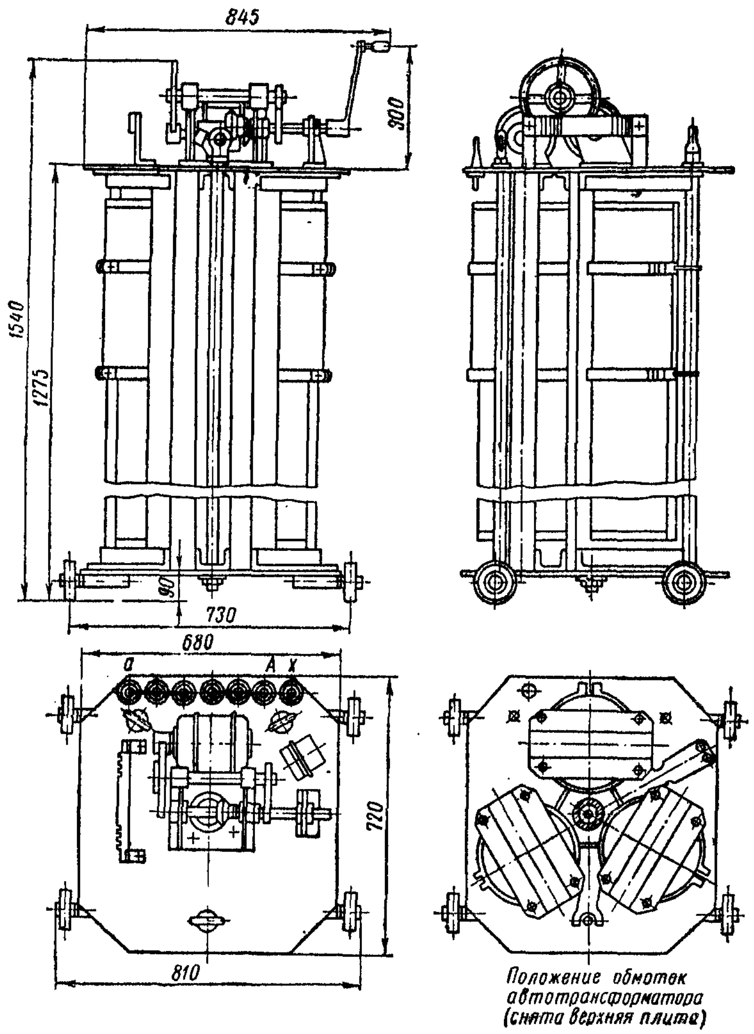


Рис. 212. Внешний вид и габаритные размеры регулировочного автотрансформатора АОСК-25/0,5

ний между витками одной из обмоток, местного нагрева и повреждения обмоточных проводов.

При приемно-сдаточных испытаниях измерение тока холостого хода трансформатора при номинальном напряжении является обязательным. Ток холостого хода не нормируется.

Опыт холостого хода производится после испытания электрической прочности изоляции. Это делается с той целью, чтобы обнаружить возможные дефекты после испытания электрической прочности изоляции. При опыте холостого хода к обмотке низшего напряжения *НН* при разомкнутых остальных обмотках подводят номинальное напряжение номинальной частоты и практически синусоидальной формы, а при испытании трехфазных трансформаторов, кроме того, — практически симметричное линейное напряжение.

Подводимое напряжение определяется как среднее арифметическое трех измеренных линейных напряжений

$$U_{\text{ном}} = \frac{U_{ab} + U_{bc} + U_{ac}}{3}.$$

Ток холостого хода трехфазного трансформатора определяется как среднее арифметическое значение токов трех фаз:

$$I_0 = \frac{I_a + I_b + I_c}{3}.$$

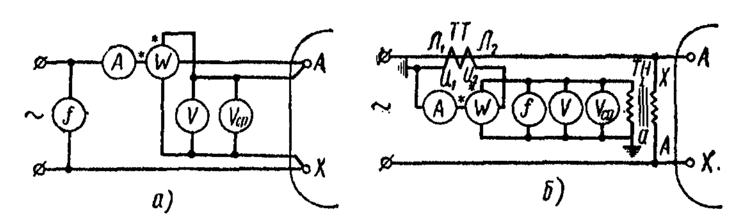


Рис. 213. Схемы измерения потерь и токов холостого хода однофазных трансформаторов:

а — непосредственное включение приборов, *б* — включение приборов через измерительные трансформаторы тока и напряжения

Измерение потерь и тока холостого хода производят по схемам, показанным на рис. 213 для однофазных трансформаторов и на рис. 214 для трехфазных трансформаторов. Потери у трехфазных трансформаторов можно измерить методом двух или трех ваттметров. Эти схемы могут выполняться как с непосредственным включением приборов (рис. 214, *а*, б), так и через измерительные трансформаторы тока *ТТ* и напряжения *ТН* (рис. 214, *в*, *г*) или добавочные сопротивления при напряжении до 600 *в* (рис. 215).

При включении параллельной и последовательной катушек

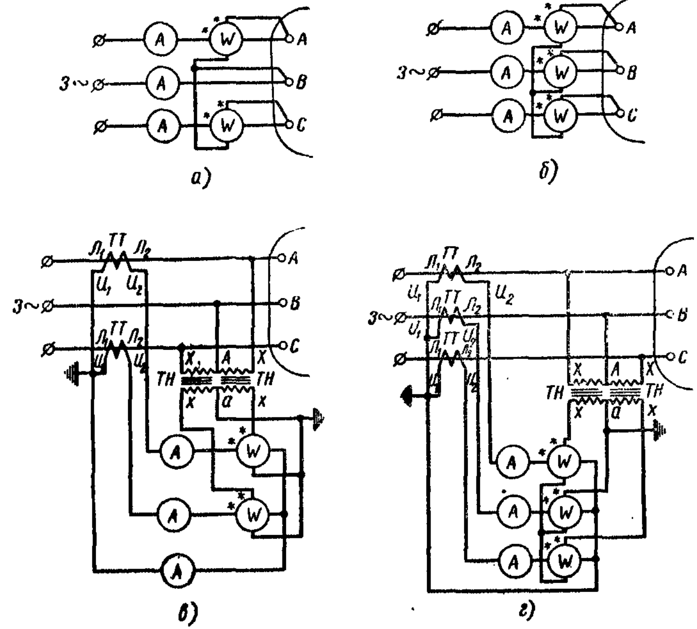


Рис. 214. Схемы измерения потерь и токов холостого хода трехфазных трансформаторов:

а — непосредственное измерение методом двух ваттметров, *б* — непосредственное измерение методом трех ваттметров, *в* — измерение через измерительные трансформаторы тока и напряжения методом двух ваттметров, *г* — измерение через измерительные трансформаторы тока и напряжения методом трех ваттметров

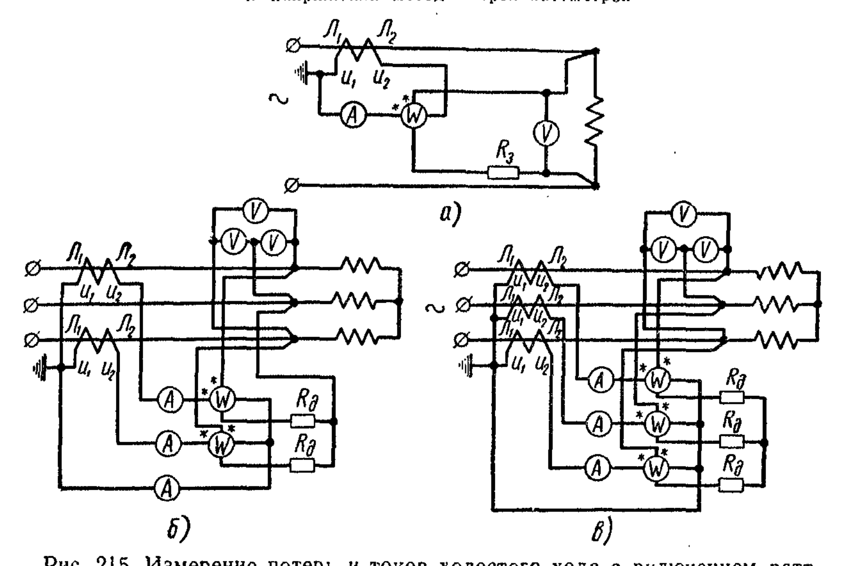


Рис. 215. Измерение потерь и токов холостого хода с включением ваттметров через трансформаторы тока и добавочные сопротивления:

а — однофазных трансформаторов, *б* — трехфазных трансформаторов по схеме двух ваттметров, *в* — трехфазных трансформаторов по схеме трех ваттметров

ваттметра их концы, отмеченные звездочкой (*), присоединяются к одной и той же фазе.

Как видно из приведенных схем, для трехфазных измерений на высоком напряжении могут быть применены только два трансформатора тока и два трансформатора напряжения, к которым присоединяются два ваттметра, три амперметра и три вольтметра.

При пользовании схемами, приведенными на рис. 214 и 215, должны соблюдаться следующие условия:

а) если применяемые в схеме ваттметры имеют переключатели полярности обмотки напряжения, то у всех ваттметров данной схемы указанные переключатели устанавливают в нормальное (+) положение;

б) если стрелка одного из ваттметров отклоняется в сторону, противоположную нормальной (при соблюдении п. «а»), то следует изменить полярность любой из цепей этого ваттметра (в частности переключателем полярности обмотки напряжения) и показания его считаются отрицательными;

в) если заранее известно, какой из ваттметров схемы должен давать отрицательные показания, то требуемую полярность этого ваттметра обеспечивают заблаговременно любым из способов, указанных выше;

г) при соблюдении указанных условий потери трехфазного трансформатора определяют как алгебраическую сумму показаний ваттметров данной схемы, т. е. $P_0 = C_w (\alpha_1 \pm \alpha_2)$, где C_w — постоянная ваттметра.

При опыте холостого хода у трехобмоточных трансформаторов с обмотками разных мощностей ток холостого хода определяют в процентах тока возбуждаемой обмотки, приведенного к номинальной мощности трансформатора (т. е. к номинальной мощности наиболее мощной обмотки трансформатора).

При измерении потерь холостого хода мощных трансформаторов рекомендуется применять малокосинусные ваттметры и измерительные трансформаторы (тока и напряжения) класса точности 0,2. Например, электродинамические ваттметры Д-542 класса точности 0,5 и Д-522 класса точности 1.

Ток холостого хода определяется в процентах номинального тока по формулам:

а) для однофазных трансформаторов $I_0\% = \frac{I_{изм}}{I_{ном}} \cdot 100\%$;

б) для трехфазных трансформаторов, как среднее арифметическое значение токов, измеренных при номинальном напряжении

$$I_0\% = \frac{I_a + I_b + I_c}{3 \cdot I_{ном}} \cdot 100\%.$$

Для современных трансформаторов $I_0 = 2 \div 10\%$, причем бóльшее значение имеют трансформаторы малой мощности. Ток

холостого хода, полученный по измерениям, не должен отличаться от заводских данных больше чем на 30%. Помимо непосредственно измеренных при опыте холостого хода потерь P_0 и тока холостого хода I_0 по результатам измерения можно определить следующие данные:

а) коэффициент мощности для трехфазных трансформаторов

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \cdot UI_0};$$

для однофазных трансформаторов $\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{UI_0}$;

б) полное фазное сопротивление обмотки при холостом ходе трансформатора

$$Z = \frac{U_ф}{I_{оф}} \ (ом);$$

в) активную составляющую полного фазного сопротивления обмотки при холостом ходе трансформатора

$$R_0 = Z \cdot \cos \varphi_0 \ (ом);$$

г) реактивную составляющую полного фазного сопротивления обмотки при холостом ходе трансформатора

$$X_0 = \sqrt{Z^2 - R^2} = Z \sin \varphi_0 \ (ом);$$

д) коэффициент трансформации трансформатора по формуле

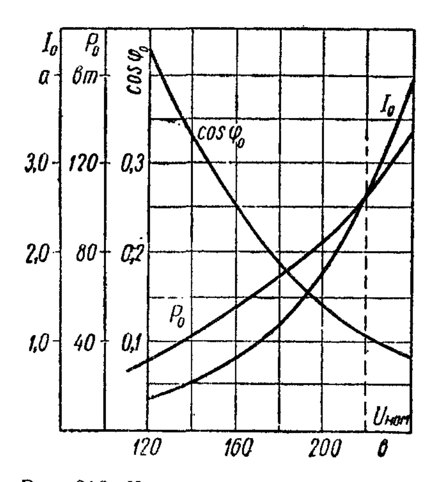


Рис. 216. Характеристики холостого хода трансформатора при соединении обмоток Y/Y

$$K_л = \frac{U_1}{U_2}.$$

Вычисленные значения U_1, U_2, I_0, K, $\cos \varphi_0$ заносятся в таблицу.

Всего целесообразно снять 4÷5 точек. Результаты испытания заносятся в соответствующий протокол (см. приложение 2). После этого производится вычисление величин, характеризующих режим холостого хода трансформатора, и строятся характеристики холостого хода (рис. 216), по которым определяются номинальные значения тока холостого хода I_0, мощности P_0, коэффициента мощности $\cos \varphi_0$, соответствующие номинальному напряжению $U_{ном}$. Для однофазного трансформатора потери холостого хода составят:

$$P_0 = P_{ст} + I_0^2 \cdot R,$$

а для трехфазного

$$P_0 = P_{ст} + 3I_0^2 R_ф,$$

где $R_ф$ — фазное сопротивление обмотки постоянному току.

Мощность холостого хода P_0 почти целиком расходуется на покрытие потерь в стали сердечника трансформатора $P_{ст}$; так как при холостом ходе потери в меди обмоток ничтожно малы по сравнению с потерями в стали, то можно приближенно принять, что $P_0 \approx P_{ст}$.

П р и в е д е н и е п о т е р ь и т о к а х о л о с т о г о х о д а к н о м и н а л ь н о м у н а п р я ж е н и ю. При испытании мощных трансформаторов допускается по ГОСТ 3484—55, если это необходимо по условиям испытания, производить опыт холостого хода при напряжении, меньшем номинального, но не менее 90% номинального. В этом случае окончательные результаты потерь холостого хода определяют посредством экстраполяции или по формуле

$$P_0 = P_0' \left(\frac{U_{ном}}{U'}\right)^n,$$

где P_0 — потери холостого хода при $U_{ном}$;
P_0' — потери, измеренные при пониженном напряжении;
$U_{ном}$ — номинальное напряжение;
U' — подводимое напряжение во время опыта;
n — показатель степени, зависящий от марки трансформаторной стали.

Для горячекатаной электротехнической стали $n=1,8$, холоднокатаной высокопроницаемой $n=1,9$. Для облегчения вычислений значений $\left(\frac{U_{ном}}{U'}\right)^n$ они обычно даются в таблицах электротехнических справочников. Эти таблицы составляются при возбуждении трансформатора напряжением от 4,016 до 10% его номинального значения.

П р и в е д е н и е п о т е р ь и т о к а х о л о с т о г о х о д а к н о м и н а л ь н о й ч а с т о т е. Если условия испытания не позволяют точно установить номинальную частоту, то допускается производить измерение при частоте, отличающейся от номинальной, но не более чем на ±5%.

Подводимое при испытании напряжение U' определяют по формуле

$$U' = U_{ном} \cdot \frac{f'}{f_{ном}},$$

где f' — частота подводимого напряжения;
$U_{ном}, f_{ном}$ — номинальные значения напряжения и частоты.

Потери холостого хода P_0 при номинальной частоте 50 *гц* определяют по формуле

$$P_0 = P_0' \left(\frac{60}{f'} - 0{,}2\right),$$

где P_0' — потери, измеренные при частоте f'.

Ток, измеренный при этом опыте, принимают равным току холостого хода.

Опыт короткого замыкания трансформатора проводится с целью определения напряжения, тока и потерь короткого замыкания ($U_к$, $I_к$, и $P_к$).

Если при холостом ходе трансформатора в основном проверяют состояние магнитной системы, то при опыте короткого замыкания, кроме того, проверяют правильность выполнения обмоток трансформатора. По данным опытов холостого хода и короткого замыкания можно определить к. п. д. трансформатора.

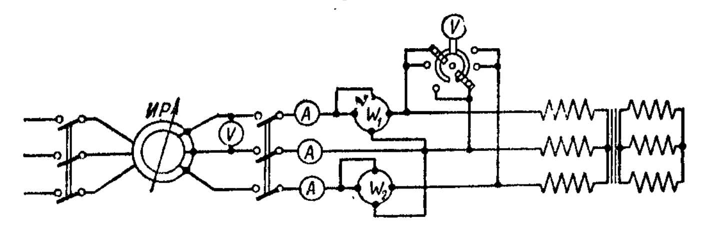


Рис. 217. Принципиальная схема для измерения тока, напряжения и мощности короткого замыкания трехфазного трансформатора:
ИР — индукционный регулятор

При опыте короткого замыкания одну из обмоток (обычно низшего напряжения) замыкают на зажимах накоротко, а другую питают от источника переменного тока номинальной частоты.

Для замыкания обмоток накоротко применяют как можно более короткие проводники, рассчитанные на номинальный ток замыкаемой накоротко обмотки, т. е. имеющие сечение примерно того же порядка, что и сечение токоведущих зажимов замыкаемой накоротко обмотки. Для измерения тока, потерь и напряжения короткого замыкания применяют примерно те же схемы (измерительная аппаратура и силовое оборудование), что и при измерении потерь и тока холостого хода (рис. 217). При опыте короткого замыкания трехфазных трансформаторов ток и напряжение определяют как среднее арифметическое показаний приборов всех трех фаз.

Напомним, что напряжение короткого замыкания $U_к$, подводимое к обмотке трансформатора при закороченной другой, по величине таково, что токи в обмотках равны номинальным.

Опыт короткого замыкания производят на номинальной ступени напряжения трансформатора. При проведении опыта короткого замыкания в условиях эксплуатации в большинстве случаев не имеется регулируемого напряжения от отдельного, специально для этой цели выделенного генератора. На практике приходится пользоваться трехфазными сетями напряжений 127, 220, 380, 500, 6000 и 10 000 *в*. В этом случае надлежит выбирать то напряжение, при котором в обмотках трансформатора установится ток в пределах 25—100% номинального и необходимые измерения можно произвести имеющимися приборами.

Далее напряжение уменьшают до возможного минимума, записывая в каждой точке значение напряжения $U_к$, тока $I_к$, мощности $P_к$. Измерения производятся возможно быстрее, во избежание нагрева обмоток током. В случае необходимости повторения опыта последний производят не ранее чем через 30 *мин* с тем, чтобы дать остыть обмоткам до температуры масла. Если до опыта короткого замыкания трансформатор находился в работе или сушке, то необходимо, чтобы обмотки трансформатора остыли. При испытании фиксируют температуру обмотки. Всего целесообразнее снять 4—6 точек. Результаты испытания заносятся в протокол (приложение 2). Затем производится вычисление величин, характеризующих режим короткого замыкания трансформатора по следующим формулам:

$$I_к = \frac{I_A + I_B + I_C}{3} \cdot C_а; \quad U_к = \frac{U_{AB} + U_{BC} + U_{AC}}{3} \cdot C_v .$$

$$P_к = C_w (\alpha_1 \pm \alpha_2),$$

где $C_а$, C_v, C_w — постоянные амперметров, вольтметров и ваттметров;

α_1 и α_2 — отсчет в делениях по схеме двух ваттметров.

Коэффициент мощности однофазного трансформатора

$$\cos \varphi_к = \frac{P_к}{U_к I_к} .$$

Коэффициент мощности трехфазного трансформатора

$$\cos \varphi_к = \frac{P_к}{\sqrt{3}\, U_к I_к} .$$

По результатам испытаний строятся характеристики короткого замыкания:

$$I_к,\ P_к,\ \cos \varphi_к = f(U_к) \quad \text{(рис. 218)}.$$

При опыте короткого замыкания трехфазных трансформаторов токи и напряжения по фазам обычно бывают одинаковыми. Если несимметрия токов и напряжений не превышает 2%, то за величину номинального тока принимается среднее арифметическое значение трех измерений $I_к = \frac{I_A + I_B + I_C}{3}$ и за величину

напряжения короткого замыкания принимается среднее арифметическое значение трех измерений:

$$U_{\text{к}} = \frac{U_{AB} + U_{BC} + U_{AC}}{3}.$$

Приведение потерь и напряжений короткого замыкания к номинальному току допускается производить при токе ниже номинального, но не менее 25% номинального тока трансформатора. Потери и напряжение короткого замыкания определяют по формулам:

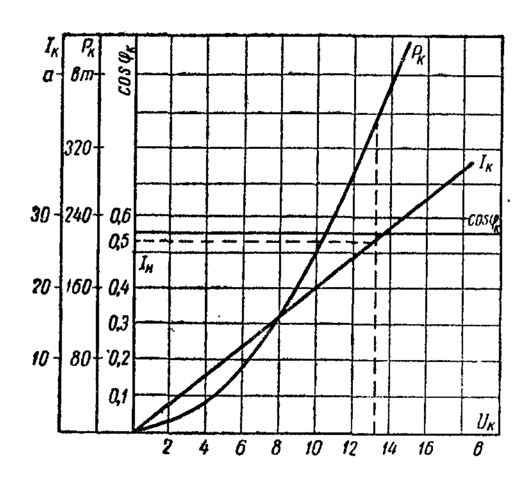


Рис. 218. Характеристики короткого замыкания трансформатора

для напряжения короткого замыкания в процентах от номинального

$$U_{\text{к}} = \frac{U_{\text{к}}' \cdot I_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}} \cdot I'_{\text{к}}} \cdot 100\%,$$

для потерь короткого замыкания

$$P_{\text{к}} = P_{\text{к}}' \left(\frac{I_{\text{ном}}}{I'_{\text{к}}}\right)^2,$$

где $P_{\text{к}}'$, $U_{\text{к}}'$ — потери и напряжение короткого замыкания, измеренные при опыте;

$I'_{\text{к}}$ — ток, при котором производился опыт;

$I_{\text{ном}}$ и $U_{\text{ном}}$ — номинальные значения тока и напряжения той обмотки, к которой подводят напряжение.

Приведение потерь короткого замыкания к номинальной температуре обмотки. С этой целью

измеренные при опыте и приведенные к номинальному току потери приводят к номинальной температуре ($\vartheta_{ном}$) обмотки. Для этого из измеренных и приведенных к номинальному току потерь короткого замыкания ($P_к$) вычитают сумму потерь в обмотках (ΣI^2R), которые вычисляют по сопротивлению, измеренному при постоянном токе. Если температура обмоток, при которой производилось измерение сопротивления R, отличалась от температуры $\vartheta_к$ обмотки, имевшейся при опыте короткого замыкания, то потери ΣI^2R предварительно приводят к температуре обмотки $\vartheta_{ном}$. Следует заметить, что потери короткого замыкания трансформаторов состоят из суммы потерь в обмотках ΣI^2R, добавочных потерь $P_{доб}$ от прохождения магнитных потоков рассеяния через стенки бака, металлические детали крепления магнитопровода и проводники самих обмоток, а также потерь в магнитопроводе от намагничивания. Потери от намагничивания настолько незначительны (менее сотых долей процента), что ими можно пренебречь. Поэтому можно написать, что $P_{доб} = P_к - \Sigma I^2R$. Эти формулы относятся к температуре $\vartheta_к$, при которой производилось измерение потерь короткого замыкания. Затем потери ΣI^2R приводят к номинальной температуре обмотки ϑ_{75} с помощью коэффициента пересчета (см. табл. 32) по формуле

$$\Sigma I^2R_{75} = \Sigma I^2R_{\vartheta к}K_1,$$

а добавочные потери $P_{доб}$ — по формуле

$$P_{доб\vartheta} = P_{доб}\cdot\frac{1}{K_1},$$

$$K_1 = \frac{\vartheta_{75} + 235}{\vartheta_к + 235},$$

где $\vartheta_{75} = \vartheta_{ном}$ — номинальная температура обмоток, *град*;
$\vartheta_к$ — температура, при которой производились измерения потерь короткого замыкания;
K_1 — коэффициент пересчета.

Из изложенного следует, что измеренные потери $\Sigma I^2R\ \vartheta_к$ с изменением температуры изменяются прямо пропорционально изменению сопротивления, а добавочные потери ($P_{доб\vartheta}$) изменяются обратно пропорционально температурному коэффициенту K_1.

Так как $\vartheta_{ном}$ равно 75°, то температурный коэффициент

$$K_1 = \frac{75 + 235}{\vartheta_к + 235} = \frac{310}{\vartheta_к + 235}.$$

Следовательно, общие потери короткого замыкания, приведенные к номинальной температуре ($\vartheta_{ном} = 75°$), определяют по формуле

$$P_{к75} = \Sigma I^2 R \vartheta_к \cdot K_1 + \frac{P_{доб} \cdot \vartheta_к}{K_1} \cdot$$

Для трансформаторов, где добавочные потери невелики и отношение

$$\frac{P_{доб75}}{\Sigma I^2 R_{75}} \leqslant 0{,}1,$$

согласно ГОСТ 3484—55 допускается для приведения потерь короткого замыкания к номинальной температуре ϑ_{75} пользоваться формулой

$$P_{к75} = P_{к\vartheta к} \cdot K_1 = P_{к\vartheta к} \frac{310}{\vartheta_к + 235} \cdot$$

Этой формулой можно пользоваться для определения $P_{к75}$ трансформаторов малой и средней мощности, где добавочные потери составляют всего лишь несколько процентов от потерь короткого замыкания. Величины K_1 для температур $\vartheta_к$ от 0 до 75° даны в табл. 32 (выборочно).

Таблица 32

Величины температурного коэффициента K_1

$\vartheta_к$	K_1	$K_2 = K_1^2 - 1$	$\vartheta_к$	K_1	$K_2 = K_1^2 - 1$	$\vartheta_к$	K_1	$K_2 = K_1^2 - 1$
0	1,3191	0,7400	30	1,1698	0,3684	55	1,0689	0,1425
5	1,2916	0,6682	35	1.1481	0,3181	60	1,0508	0,1041
10	1,2653	0,6009	40	1,1272	0,2705	65	1,0333	0,0677
15	1,2400	0,5376	45	1,1071	0,2256	70	1,0163	0,0328
20	1,2156	0,4776	50	1,0877	0,1830	75	1,0000	0,000
25	1,1923	0,4215						

Приведение напряжения короткого замыкания к номинальной температуре обмотки. Напряжение короткого замыкания $U_к$ является геометрической суммой двух слагаемых — активной составляющей напряжения короткого замыкания $U_а$ и реактивной составляющей напряжения короткого замыкания $U_р$. Поэтому

$$U_к = \sqrt{U_а^2 + U_р^2} \quad \text{или} \quad U_р = \sqrt{U_к^2 - U_а^2}.$$

Активная составляющая, так же как и потери, обусловленные сопротивлением $(\Sigma I^2 R)$, изменяется с изменением температуры, реактивная же составляющая от температуры не зависит. Напряжение короткого замыкания $U_к$ выражают в процентах от номинального напряжения и приводят к номинальной температуре 75° по формуле

$$U_{к75} = \sqrt{U_{а\vartheta}^2 K_1^2 + U_р^2} \quad (\%),$$

где $U_{a\vartheta}$ и U_p — активная и реактивная составляющие напряжения короткого замыкания в процентах от номинального напряжения, измеренного при температуре $\vartheta_к$.

Этой формулой в таком виде пользоваться при испытаниях неудобно, поэтому после преобразования она может быть представлена в следующем виде:

$$U_{a\vartheta} \doteq \frac{P_{к\vartheta}}{10 \cdot S_{ном}} \% \text{ или } U_{a75} = \frac{P_{к\vartheta}}{10 \cdot S_{ном}} \cdot K_1 \%,$$

где $S_{ном}$ — номинальная мощность трансформатора, *ква*;

$P_{к\vartheta}$ — потери короткого замыкания в ваттах, соответствующие номинальному току, определенные при температуре $\vartheta_к$.

Тогда реактивная составляющая напряжения короткого замыкания (U_p) в процентах от номинального напряжения составит:

$$U_p = \sqrt{U_к^2 - U_a^2} = \sqrt{U_к^2 - \left(\frac{P_к}{10 \cdot S_{ном}}\right)^2} \%,$$

или в окончательном виде получим:

$$U_{к75} = \sqrt{U_{к\vartheta}^2 + \left(\frac{P_{к\vartheta}}{10 \cdot S_{ном}}\right)^2 \cdot (K_1^2 - 1)} \%,$$

где $U_{к\vartheta}$ — напряжение короткого замыкания в процентах от номинального напряжения, измеренное при температуре $\vartheta_к$;

$P_{к\vartheta к}$ — потери короткого замыкания, измеренные при температуре ϑ, *вт*;

$K_1^2 - 1$ — коэффициент, зависящий от температуры испытания $\vartheta_к$, принимается по табл. 32.

Согласно ГОСТ 3484—55 разрешается не приводить напряжение короткого замыкания к номинальной температуре, если активная составляющая U_a не превышает 15% от $U_к$. Это относится к мощным и высоковольтным трансформаторам, начиная от 7500 *ква* и выше. В трансформаторах средней и малой мощности, где U_a превышает 15%, приводить напряжение короткого замыкания к номинальной температуре обмотки обязательно.

Как было сказано выше, при опыте короткого замыкания следует фиксировать температуру обмотки. За температуру обмоток холодного трансформатора принимается температура верхних слоев масла. Температуру его измеряют ртутным или спиртовым термометром, термопарой или термометром сопротивления на расстоянии 120—150 *мм* от крышки залитого полностью маслом трансформатора. Если опыт короткого замыкания производится после отключения от сети трансформатора

или после его сушки, то для определения истинной температуры обмоток следует измерить одним из известных методов сопротивление одной из обмоток постоянному току. Зная сопротивление этой обмотки при определенной температуре и имея сопротивление обмотки при неизвестной температуре, можно легко определить искомую температуру по формуле

$$\vartheta_{обм} = \frac{R_г - R_х}{R_х}(235 + \vartheta_х) + \vartheta_х,$$

где $\vartheta_{обм}$ — искомая температура обмотки, измеренное сопротивление которой $R_г$;

$\vartheta_х$ — известная температура, при которой измерено сопротивление обмотки $R_х$ (в холодном состоянии).

Приведение напряжения короткого замыкания к номинальной частоте. Частота тока при опыте короткого замыкания не должна отличаться от номинальной более чем на $\pm 5\%$, т. е. не более чем на $\pm 2{,}5$ *гц* при $f = 50$ *гц*. Известно также, что реактивная составляющая напряжения короткого замыкания $U_р$ изменяется прямо пропорционально изменению частоты f и может быть выражена

$$U_{кf_{ном}} = \sqrt{U_а^2 + \left(U_р \cdot \frac{f_{ном}}{f'}\right)^2},$$

где $f_{ном}$ — номинальная частота;

f' — частота при измерении;

$U_{ка}$ и $U_{кр}$ — активная и реактивная составляющие напряжения короткого замыкания в процентах при частоте f', отличной от номинальной $f_{ном}$.

Если активная составляющая $U_{ка}$ не превышает 15% $U_к$, то согласно ГОСТ 3484—55 допускается приведение напряжения короткого замыкания к номинальной частоте производить по формуле

$$U_{кf_{ном}} = U_к \cdot \frac{f_{ном}}{f'}.$$

• Пример 1. Требуется определить $U_к$ и потери короткого замыкания трехфазного трансформатора, имеющего следующие номинальные характеристики: $S_{ном} = 1000$ *ква*; $U = 10\,500$ — — 10 000 — 9500/400 *в*; $I_{ном} = 58/1450$ *а*.

Чтобы решить, какую обмотку следует закоротить, необходимо знать напряжение короткого замыкания трансформатора и напряжения, при которых должен проводиться опыт. Из ГОСТ 401—41 для трехфазных двухобмоточных трансформаторов находим, что $U_к$ трансформатора мощностью 1000 *ква* с напряжением 10 *кв* равно 5,5%. Таким образом, закорачивая обмот-

ку *НН*, для получения номинального тока на обмотку *ВН* надо подать напряжение:

$$\frac{10\,000}{100} \cdot 5{,}5 = 550 \text{ в}.$$

Напряжение, которым мы располагаем, равно 380 *в*.

Подводим к обмотке *ВН* 380 *в* (обмотка *НН* закорочена) и измеряем во всех фазах токи, потери и напряжение короткого замыкания $U_к$.

Измерение токов обмоток *ВН* дало следующие результаты:

Фаза А	51,8 *а*
Фаза В	51,5 *а*
Фаза С	51,7 *а*

Среднее арифметическое значение тока:

$$I_{ср} = \frac{51{,}8 + 51{,}5 + 51{,}7}{3} = 51{,}7 \text{ а}.$$

Измеренные потери — 11 000 *вт*. Испытание производилось при температуре 18°. Напряжение короткого замыкания, приведенное к номинальному току, при температуре испытания:

$$U_к = \frac{380}{10\,000} \cdot \frac{58}{51{,}7} \cdot 100 = 4{,}26\%$$

Потери короткого замыкания, приведенные к номинальному току:

$$P_{к\vartheta} = P_к' \left(\frac{I_{ном}}{I_к'}\right)^2 = 11\,000 \left(\frac{58}{51{,}7}\right)^2 = 13\,850 \text{ вт}.$$

Потери короткого замыкания, приведенные к температуре 75°, составят:

$$P_{к75} = K_1 \cdot P_к = 1{,}2252 \cdot 13\,850 = 16\,950 \text{ вт}.$$

Значение K_1 взято из табл. 32 при температуре 18°. Напряжение короткого замыкания, приведенное к температуре 75°, составит:

$$U_{к75} = \sqrt{U_{к\vartheta}^2 + \left(\frac{P_{к\vartheta}}{10 \cdot S_{ном}}\right)^2 \cdot \left(K_1^2 - 1\right)} =$$

$$= \sqrt{4{,}26^2 + \left(\frac{13\,850}{10 \cdot 1000}\right)^2 \cdot 0{,}5011} = 4{,}39\%.$$

Здесь значение $(K^2{}_1 - 1)$ взято из табл. 32.

Приведение напряжения короткого замыкания к номинальной частоте не производилось, так как частота тока за время опыта не менялась.

Пример 2. Произведен опыт короткого замыкания трехфазного трансформатора мощностью 100 *ква*, 60 000±5%, 400 *в*, 9,65/145 *а*, 50 *гц*, при соединении обмоток Y/Y $_0$—12. Схема короткого замыкания была собрана на стороне *ВН*. Напряжение подводилось со стороны *НН*. До испытания были измерены сопротивления постоянному току при температуре окружающей среды $\vartheta = 22°$. Средние значения сопротивлений для трехфазных обмоток *ВН* и *НН* оказались равными:

$$R_{в.н} = 3{,}55 \text{ ом}; \quad R_{н.н} = 0{,}45 \cdot 10^{-2} \text{ ом}.$$

Получены данные опыта короткого замыкания: $U_к = 195$ *в*; $I_к = 5{,}3$ *а*; $P_к = 600$ *вт*; $f = 50$ *гц*. После испытания были измерены сопротивления постоянному току обмоток $R_{в.н} = 3{,}8$ *ом* и $R_{н.н} = 0{,}48$ *ом*. Соответственно данным сопротивлениям определяем температуры обмоток при опыте короткого замыкания:

$$\vartheta_{обм,\,в.н} = \frac{R_0 - R_x}{R_x}(235 + \vartheta_x) + \vartheta_x = \frac{3{,}8 - 3{,}55}{3{,}55}(235 + 22) + 22 = 40{,}1°$$

$$\vartheta_{обм,\,н.н} = \frac{R_0 - R_x}{R_x}(235 + \vartheta_x) + \vartheta_x = \frac{0{,}48 - 0{,}45}{0{,}45}(235 + 22) + 22 = 39{,}1°.$$

За расчетную температуру при опыте короткого замыкания принимаем среднее арифметическое значение из подсчитанных температур

$$\vartheta_к = \frac{40{,}1 + 39{,}1}{2} = 39{,}6°.$$

Затем приведем данные опыта короткого замыкания к номинальному току $I_{ном}$ и номинальной температуре $\vartheta_{ном} = 75°$ по приближенной формуле

$$P_{к75} = P_к \frac{310}{235 + \vartheta} \cdot \left(\frac{I_{ном}}{I_к}\right)^2 = 600 \frac{310}{235 + 39{,}6} \cdot \left(\frac{9{,}65}{5{,}3}\right)^2 = 2240 \text{ вт}$$

В этом случае активное напряжение короткого замыкания составит:

$$U_{ка} = \frac{P_{к.75}}{10 \cdot S_{ном}} = \frac{2240}{10 \cdot 100} = 2{,}24\%.$$

По данным опыта короткого замыкания находим:

$$Z_к = \frac{U_к}{\sqrt{3} \cdot I_к} = \frac{195}{1{,}73 \cdot 5{,}3} = 21{,}3 \text{ ом};$$

$$R_к = \frac{600}{3 \cdot 5{,}3^2} = 7{,}12 \text{ ом};$$

$$X_к = \sqrt{Z_к^2 - R_к^2} = \sqrt{21,3^2 - 7,12^2} = 19,8 \text{ ом}$$

и

$$U_{кр} = \frac{I_н \cdot X_к}{U_л / \sqrt{3}} \cdot 100 = \frac{9,65 \cdot 19,8}{60\,000 \cdot / \sqrt{3}} \cdot 100 \approx 5,5\%.$$

Так как $U_{кр}$ не зависит от температуры, то

$$U_к = \sqrt{U_{ка}^2 + U_{кр}^2} = \sqrt{2,24^2 + 5,5^2} = 5,95\%.$$

Приведение мощности $P_к$ и напряжения $U_к$ к их номинальным значениям делается так же, как в предыдущем примере.

Для трехобмоточных трансформаторов опыт короткого замыкания производится с каждой парой обмоток (т. е. всего три опыта) при незамкнутой третьей обмотке. В том случае, если

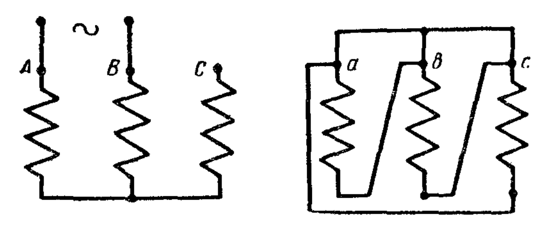


Рис. 219. Схема пофазного опыта короткого замыкания трехфазного трансформатора

номинальные мощности отдельных обмоток трехобмоточного трансформатора неодинаковы, то напряжения короткого замыкания и их активные и реактивные сопротивления относят к номинальной мощности наименее мощной обмотки из пары обмоток, участвующих в данном опыте.

При опыте короткого замыкания увеличенные потери $P_к$ указывают на наличие в трансформаторе таких дефектов, как обрыв одной или нескольких параллельных ветвей обмотки, неправильное выполнение транспозиции.

Дефектная фаза обнаруживается при помощи производства трех пофазных опытов короткого замыкания, для чего замыкают накоротко обмотку низшего напряжения, а напряжение поочередно подается на зажимы высшего напряжения *AB*, *BC* и *AC* (рис. 219). Измеренные потери представляют собой потери в двух фазах трансформатора. Так как при отсутствии дефектов все три опыта должны дать одинаковые результаты, то дефектная фаза при этом легко обнаруживается тем, что два опыта, в которых она участвует, дают большие потери, чем третий опыт, в котором дефектная фаза не участвует.

К о э ф ф и ц и е н т п о л е з н о г о д е й с т в и я (к. п. д.) т р а н с ф о р м а т о р а. По данным опыта холостого хода и ко-

роткого замыкания можно определить к. п. д. трансформатора, представляющего собой отношение отдаваемой трансформатором активной мощности P_2, к активной мощности, подведенной из сети P_1. Этот коэффициент, имеющий большое значение для оценки режима нагрузки трансформатора, находится по формуле

$$\eta = \frac{P_{2н}'}{P_{1н}} = \frac{U_2 \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2}{U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1} \text{ или } \eta = \frac{P_{2н}}{P_{2н} + P_{кн} + P_{он}} \cdot 100\% =$$

$$= \left(1 - \frac{P_{кн} + P_{он}}{P_{2н} + P_{кн} + P_{он}}\right) \cdot 100\%,$$

где $P_{2н}$ — номинальная активная мощность вторичной обмотки, *квт*;

$P_{кн}$ — номинальная мощность короткого замыкания, которая обычно определяет электрические потери в обмотках, т. е. потери в меди обмоток, *квт*;

$P_{он}$ — номинальная мощность холостого хода, которая обычно определяет магнитные потери в сердечнике, *квт;*

$\cos\varphi_1$ — коэффициент мощности первичной сети;

$\cos\varphi_2$ — коэффициент мощности вторичной сети.

Отдаваемая номинальная активная мощность определяется по формуле

$$P_{2н} = K_{нг} \cdot P_{1н} \cdot \cos\varphi_2,$$

где $K_{нг}$ — коэффициент загрузки трансформатора;

$P_{1н}$ — номинальная мощность трансформатора, *ква*.

При определении коэффициента нагрузки $K_{нг}$ предполагается, что в пределах изменения нагрузки до номинальной вторичное напряжение остается практически постоянным, соответственно чему нагрузка трансформатора характеризуется вторичным током I_2. В таком случае принимают, что $K_{нг} = \frac{I_2}{I_{2н}}$. Принято также считать, что потери в меди обмоток трансформатора при токе $I_2 = I_{2н}$ приравниваются к номинальной мощности короткого замыкания $P_{кн} = P_{к75}$. При коэффициенте нагрузки $K_{нг} = \frac{I_2}{I_{2н}}$ потери короткого замыкания составляют $P_м = K_{нг}^2 \cdot P_{кн}$. Тогда к. п. д. трансформатора в упрощенном виде согласно ГОСТ 401—41 определяется по следующей формуле

$$\eta = \left(1 - \frac{P_{он} + K_{нг}^2 \cdot P_{кн}}{K_{нг} \cdot P_{2н} \cdot \cos\varphi_2 + P_{он} + K_{нг}^2 \cdot P_{кн}}\right) \cdot 100\%.$$

В случае, если $P_{он} = K_{нг}^2 \cdot P_{кн}$, то к. п. д. трансформатора достигает максимума при такой нагрузке, при которой (потери в

меди) потери короткого замыкания равны потерям холостого хода (потерям в стали сердечника), или переменные потери ($K_{нг}^2$, $P_{кн}$) равны постоянным ($P_{он}$). В современных силовых масляных трансформаторах отношение

$$\frac{P_{он}}{P_{кн}} \approx \frac{1}{3} \div \frac{1}{4},$$

поэтому максимальное значение их к. п. д. имеет место при коэффициенте нагрузки $K_{нг} \approx 0{,}58$ до 0,5.

Пример. Определить к. п. д. трехфазного трансформатора мощностью 1000 *ква*, 6000/400 *в*, для $K_{нг} = 0{,}25$; 0,50; 0,75 и 1,0 и $\cos\varphi_2 = 0{,}85$. Потери холостого хода $P_{он} = 4{,}9$ *квт*, потери короткого замыкания $P_{кн} = 15$ *квт*. Результаты расчета к. п. д. сводим в табл. 33 и по ним строим характеристику (рис. 220), т. е. зависимость $\eta = f(P_2)$.

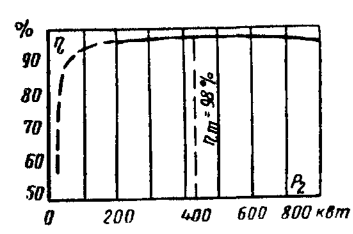


Рис. 220. Кривая зависимости к. п. д. от отдаваемой мощности P_2 трансформатора

Таблица 33

Вычисление к. п. д.

$K_{нг}$, %	$P_2 = K_{нг} \cdot P_{1н} \cdot \cos\varphi_2$, *квт*	$P_{он}$, *квт*	$K^2_{нг} \cdot P_{кн}$, *квт*	$P_{он} + K^2_{нг} P_{кн}$, *квт*	$P_2 + P_{он} + K^2_{нг} \cdot P_{кн}$, *квт*	η%
25	212,5	4,9	0,938	5,838	218,34	97,3
50	425	4,9	3,75	8,650	433,65	98
75	637,5	4,9	8,45	13,355	650,85	98
100	850	4,9	15	19,900	869,90	97,9

Из табл. 33 видно, что трансформатор имеет очень высокий к. п. д. даже при нагрузке в 25%. Данный вывод носит общий характер. К. п. д. трансформатора достигает максимума при

$$K_{нг} = \sqrt{\frac{P_{он}}{P_{кн}}} = 0{,}57 \text{ и при } \cos\varphi_2 = 0{,}85 \text{ он составляет}$$

около 98%.

Требования, которые должны предъявляться к измерительным приборам. Измерения напряжений и токов следует производить приборами класса точности 0,5. Измерение потерь при опыте короткого замыкания, особенно при испытании мощных силовых трансформаторов, необходимо производить малокосинусными ваттметрами класса 0,5 и измерительными трансформаторами тока и напряжения класса 0,2. Малокосинусные ваттметры (Д522 и Д542) с номинальным

коэффициентом мощности $\cos\varphi=0,1$ допускают длительную перегрузку по току в 3—4 раза и по напряжению в 1,5—2 раза. Благодаря этому такие ваттметры обеспечивают высокую точность. В табл. 34 приведены ориентировочные значения $\cos\varphi$ при измерениях потерь короткого замыкания в зависимости от мощности трансформатора и его $U_к$ %. Данная таблица составлена применительно к трехфазным двухобмоточным трансформаторам.

Таблица 34

Ориентировочные значения $\cos\varphi$ при измерениях потерь короткого замыкания

Тип трансформатора	$U_к$, %	Ориентировочное значение $\cos\varphi$ при измерении потерь короткого замыкания	Тип трансформатора	$U_к$, %	Ориентировочное значение $\cos\varphi$ при измерении потерь короткого замыкания
ТМ50/6	5,5	0,48	ТМ5600/35	7,5	0,13
ТМ100/6	5,5	0,43	ТМ7500/35	7,5	0,13
ТМ560/35	6,5	0,26	ТДГ10000/110	10,5	0,09
ТМ1000/35	6,5	0,33	ТДГ40500/110	10,5	0,05
ТМ3200/35	7,0	0,16	ТДГ60000/110	11,5	0,04

§ 4. ИСПЫТАНИЕ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА

Общая часть. Одним из важных элементов изоляции масляных трансформаторов является трансформаторное масло, свойства которого определяются ГОСТ 982—56. От качества масла в значительной степени зависит надежность и длительность работы трансформатора.

Трансформаторное масло, находясь в соприкосновении с окружающим воздухом, активно поглощает из него влагу; кроме того, кислород и в особенности озон, содержащиеся в воздухе, окисляют масло, — в результате снижается его электрическая прочность. Плохое качество залитого в трансформатор масла приводит к порче изоляции трансформатора, коррозии магнитопровода и других металлических частей трансформатора. Качество масла должно обязательно проверяться до испытания главной и витковой изоляции трансформатора во избежание повреждения его при испытании из-за загрязнения или увлажнения.

При приемно-сдаточных испытаниях трансформаторное масло проходит проверку в объеме и по нормам, приведенным в приложении 10.

Важнейшей характеристикой трансформаторного масла является его электрическая прочность.

Испытание масла на пробой производится при помощи специально предназначенных для этой цели аппаратов АМИ-60, КИИ-70, описание которых приведено в главе второй.

Для испытания аппарат имеет фарфоровый сосуд, в который заливается 0,5 *л* подлежащего испытанию масла. В сосуде (рис. 221) укреплены два латунных электрода в виде цилиндров диаметром 25 *мм*; расстояние между этими электродами, т. е. толщина слоя масла между ними, должно быть равно точно 2,5 *мм*. В крышке аппарата, под которой располагается сосуд с маслом, имеется стеклянное окошко для наблюдения за процессом пробоя.

Перед самым испытанием банку с пробой масла несколько раз медленно поворачивают вверх дном, чтобы масло перемешалось, однако банку не следует встряхивать, чтобы в масле не образовалось пузырьков воздуха; затем вынимают пробку и сливают некоторое количество масла, чтобы обмыть края банки. После этого испытуемым маслом трижды ополаскивают электроды, предварительно уже промытые и высушенные. После каждого из трех ополаскиваний электродов масло полностью сливают. Только после этого заливают в сосуд с электродами необходимое для испытания количество масла. Уровень залитого в сосуд масла должен быть по крайней мере на 15 *мм* выше верхнего края электрода. Залитому в сосуд маслу дают отстояться в течение 5—10 *мин*, после чего производят первый пробой. Напряжение на электродах повышают плавно со скоростью 1—2 *кв* в секунду до пробоя; величина напряжения на электродах определяется по показанию вольтметра. Пробой отмечается по образованию в масле между электродами сплошной ярко светящейся искры и по спаданию до нуля стрелки вольтметра.

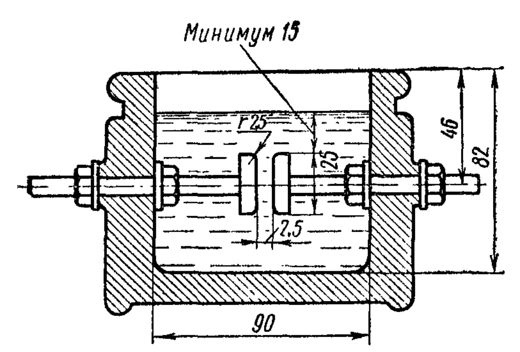


Рис. 221. Разрез фарфорового сосуда для испытания масла

После пробоя масла напряжение снижают, затем вновь увеличивают тем же порядком до следующего пробоя. Перед каждым из последующих пробоев маслу дают отстояться в течение 1 *мин*, а кроме того, слегка его перемешивают чистой и сухой стеклянной палочкой или щупом, чтобы из пробиваемого масла в пространстве между электродами удалились пузырьки воздуха, частички копоти и т. д. Всего для данного образца

масла следует сделать пять пробоев; из полученных пяти значений берут среднее арифметическое. Это среднее значение и принимают за «пробивное напряжение» данного образца масла толщиной слоя 2,5 *мм.*

Испытание масла на пробой весьма несложно, но, чтобы получить надежные результаты, следует соблюдать абсолютную чистоту и к этому испытанию относиться исключительно внимательно. Необходимо проверять расстояние между обращенными друг к другу плоскостями электрода специальным калибром (щупом) толщиной 2,5 *мм*; сосуд и электроды должны быть совершенно чистыми и сухими; время от времени электроды следует протирать замшей; после промывки или просушивания нельзя касаться руками электродов и внутренней поверхности сосуда.

Практика многих лет эксплуатации трансформаторов и других масляных аппаратов показала, что результаты испытания масла на пробой не всегда достаточны для решения вопроса о необходимости сушки трансформатора. Сушка трансформатора часто становится необходимой из-за загрязнения трансформаторного масла растворимыми в нем лаками, которые обнаруживаются проверкой масла на диэлектрические потери ($\operatorname{tg}\delta$). Поэтому при решении вопроса о необходимости сушки трансформаторов следует произвести измерение тангенса угла диэлектрических потерь масла.

Обычно значение тангенса угла диэлектрических потерь ($\operatorname{tg}\delta$) масла трансформаторов колеблется в пределах до 1% при 20°, до 7% при 70°.

Высокий тангенс угла диэлектрических потерь ($\operatorname{tg}\delta$) масла резко сказывается на величине сопротивления изоляции обмоток и на отношении C_2/C_{50}. Пробу масла для испытания из бака трансформатора или другого аппарата следует брать в сухую, ясную, безветренную, а зимой морозную погоду в совершенно чистую стеклянную банку со стеклянной притертой пробкой. Для взятия пробы масла из трансформатора следует открыть спускной вентиль в нижней части бака трансформатора, дать стечь небольшому количеству масла, чтобы смыть пыль и грязь у выходного отверстия патрубка, и затем уже подставить заранее подготовленную банку. Если проба масла до испытания должна храниться некоторое время или же пересылаться в другое место, то пробку банки следует залить парафином, чтобы в масло не попадала влага из воздуха.

§ 5. СУШКА ТРАНСФОРМАТОРОВ

Включение трансформаторов без сушки. Большинство трансформаторов, прибывших с завода залитыми маслом, может быть смонтировано и включено в эксплуатацию без

сушки, при соблюдении ряда условий. Решение вопроса о возможности включения трансформатора в эксплуатацию без сушки производится на основе комплексного рассмотрения данных заводских испытаний, данных о транспортировке и хранении трансформаторов и результатов измерений и испытаний на месте монтажа перед его включением.

Трансформаторы мощностью до 1800 *ква* напряжением до 35 *кв* включительно, транспортируемые с маслом и с расширителем, можно включать без сушки при соблюдении следующих условий:

а) уровень масла в расширителе должен быть в пределах отметок маслоуказателя;

б) масло должно иметь электрическую прочность не менее 30 *кв* для трансформаторов напряжением до 20 *кв* и 40 *кв* для трансформаторов напряжением 35 *кв*;

в) в масле не должно быть следов влаги.

Если пробивное напряжение масла меньше указанных значений на величину не более 5 *кв*, а масло находится на требуемом уровне, то производится измерение величины тангенса угла диэлектрических потерь ($\operatorname{tg}\delta$) и отношения C_2/C_{50}.

В настоящее время принято считать изоляцию обмоток трансформатора сухой (не увлажненной), если отношение R_{60}/R_{15} не менее 1,3 при температуре $10 \div 30°$, значения $\frac{C_2}{C_{50}}$ и $\operatorname{tg}\delta$ должны соответствовать данным табл. 25—29.

Для трансформаторов мощностью выше 1800 *ква* напряжением до 35 *кв* включительно, транспортируемых с маслом, но без расширителя, необходимыми условиями включения без сушки являются: герметичность, электрическая прочность масла не менее 30 *кв* — для трансформаторов напряжением до 20 *кв* и не менее 40 *кв* — для трансформаторов 35 *кв* и соответствующие нормам данные химического анализа масла, а также находящиеся в установленных пределах значения R_{60}/R_{15}, $\operatorname{tg}\delta$ и величины $\frac{C_2}{C_{50}}$ и $\frac{C_{гор}}{C_{хол}}$.

Трансформаторы, вводимые в эксплуатацию после капитального ремонта, могут быть включены без сушки, если во время ремонта температура выемной части трансформатора поддерживается выше температуры воздуха не менее чем на $3 \div 5°$, так как допустимая продолжительность пребывания выемной части в воздухе в этом случае увеличивается в три раза. Если выемная часть трансформатора во время ремонта находилась вне масла или в условиях повышенной влажности воздуха дольше указанных сроков, необходимость сушки устанавливается путем сравнения результатов измерений, произведенных до и после ремонта при одинаковых по возможности условиях; при этом следует также учитывать тангенс угла диэлектрических

потерь масла. Одноминутное значение сопротивления изоляции R_{60} за время ремонта может снизиться не более чем на 40%; отношение C_2/C_{50} (если оно измеряется) возрастает не более чем на 10% и tg δ — не более чем на 30% значений, измеренных перед ремонтом при той же температуре или значений, приведенных к температуре, измеренной после ремонта. Если получаются бо́льшие отклонения, но абсолютные значения их не превосходят величин, приведенных в табл. 25—29, то сушки также не требуется.

В дождливую погоду, туман и снег не рекомендуется вскрывать трансформатор на открытом воздухе.

При нарушении указанных условий происходит увлажнение изоляции обмоток, и в этих случаях трансформаторы подвергаются сушке или контрольной подсушке.

Сушка трансформаторов в собственном баке с маслом (контрольная подсушка). Сушку увлажненных трансформаторов в масле допускается производить при температуре масла не выше 80° с выдержкой (без применения вакуума) не более 48 *час*. Подсушка трансформаторов производится лишь в тех случаях, когда нет основания предполагать значительного увлажнения трансформатора. Московский трансформаторный завод рекомендует производить подсушку трансформаторов в масле в следующих случаях:

а) выемная часть трансформатора находилась на воздухе при ремонте более 16 *час* при сухой погоде (относительная влажность воздуха не более 65%) или более 12 *час* при влажной погоде (относительная влажность воздуха не более 75%), но не более 48 *час*;

б) нарушена герметичность, но в баке и на выемной части трансформатора для напряжения 110 *кв* и выше не обнаружено следов влаги;

в) пробивное напряжение масла в трансформаторе снизилось ниже, чем это допускается. В этом случае до начала сушки следует масло довести до нормы;

г) характеристики изоляции не удовлетворяют требованиям; например, коэффициент абсорбции $K_{аб}$, тангенс угла диэлектрических потерь tg δ и отношение емкостей C_2/C_{50} выше допустимых норм или близки к ним;

д) трансформатор, прибывший без масла, был залит маслом позднее чем через 1 месяц после прибытия или позднее чем через 3 месяца после отправки с завода;

е) при нагреве произошло снижение пробивного напряжения масла более чем на 15% без значительного ухудшения изоляции; необходимо до начала подсушки масло довести до нормы.

Ускорить процесс подсушки трансформатора возможно пу-

тем создания полного вакуума как при заливке трансформатора маслом, так и в процессе всей его подсушки и достижением равномерного прогрева трансформатора по всей его высоте до максимально допустимой температуры, не вызывающей порчи масла. В тех случаях, когда бак трансформатора не рассчитан на полный вакуум, следует в процессе подсушки и заполнения его маслом поддерживать в нем наибольшее разряжение, допустимое конструкцией бака. При этом масло необходимо забирать сверху трансформатора и подавать его в низ бака трансформатора масляным насосом, имеющим часовую производительность не менее 12% объема масла в баке. Такой дегазацией и высокой степенью очистки масла от влаги достигается быстрое улучшение состояния изоляции трансформатора.

Нагрев трансформатора с маслом может быть осуществлен любым способом (электропечами, индукционной обмоткой, током короткого замыкания и пр.). Подсушку необходимо производить при хорошо утепленной крышке трансформатора, с подогревом дна его бака, исходя из расчета 2,5—3 *квт/м*^{2} площади дна. Сушку следует считать законченной, когда характеристики изоляции трансформатора ($K_{аб}$, $\operatorname{tg}\delta$ и $\frac{C_2}{C_{50}}$) будут соответствовать нормам. Если подсушка в масле не дала положительных результатов, то трансформатор подлежит сушке без масла.

С у ш к а т р а н с ф о р м а т о р а в с о б с т в е н н о м б а к е б е з м а с л а п о д в а к у у м о м (рис. 222). Во всех случаях, когда характеристики изоляции трансформатора указывают на значительное его увлажнение, а также в случаях, когда:

а) на выемной части трансформатора обнаружены следы воды;

б) выемная часть трансформатора была на воздухе не более 48 *час*;

в) имеет место повреждение на крышке с нарушением уплотнения;

г) подсушка в масле в течение 48 *час* не дала положительных результатов, трансформатор должен быть обязательно подвергнут сушке без масла.

Перед сушкой из бака удаляют остатки масла и вытирают его насухо. Выемную часть трансформатора опускают в бак и герметически закрывают крышкой.

Для контроля за температурой выемной части трансформатора в нескольких местах устанавливаются термопары или термометры сопротивления. Кроме того, 2—3 термопары (или термометр сопротивления) устанавливаются для измерения температуры стенки бака и под крышкой. Для измерения характеристик изоляции обмоток все свободные концы каждой из них

соединяются вместе и выводятся через крышку с помощью временных фарфоровых выводов.

Трансформатор устанавливается на собственную тележку или на специальную металлическую раму с уклоном порядка 2° в сторону отверстия в дне бака для спуска масла. Для слива масла из трансформатора во время сушки к этому отверстию необходимо присоединить промежуточный бачок емкостью около 3—5 *л* с пробковыми кранами на входе и выходе из него.

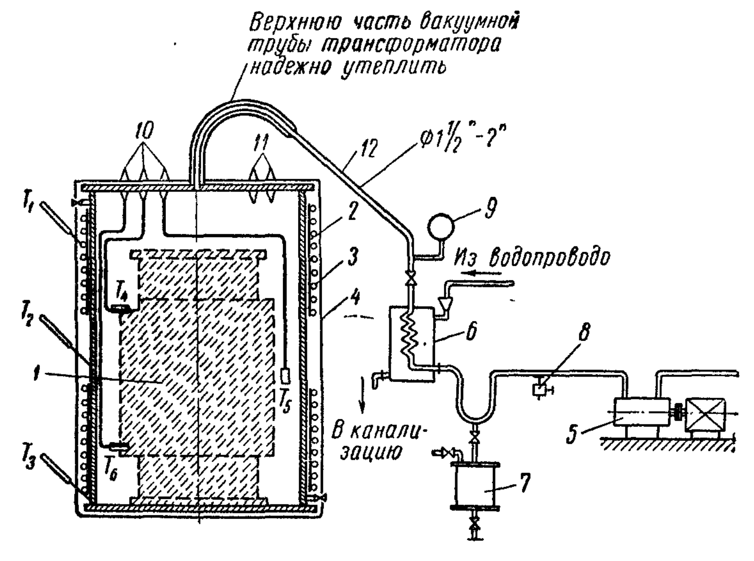


Рис. 222. Схема сушки трансформатора в баке без масла под вакуумом индукционным методом:

1 — сердечник трансформатора, *2* — асбестовая изоляция, *3* — намагничивающая обмотка, *4* — отепление кожуха асбестом, *5* — вакуум-насос, *6* — охладитель, *7* — отстойник для сбора конденсата, *8* — кран для регулировки вакуума, *9* — вакуумметр, *10* — временные выводы для термопар, *11* — временные выводы для измерения сопротивления изоляции обмоток трансформатора, *12* — трубопровод или шланг; T_1, T_2 и T_3 — термометры, T_4, T_5, T_6 — термопары

К крышке трансформатора через обратный клапан или вентиль присоединяют трубопроводом или шлангом *12* диаметром не менее 1½—2″ вакуум-насос *5*. Состояние вакуума проверяется по вакуумметру *9*. Часовая производительность вакуумметра должна быть возможно большей, но не менее полной величины объема бака трансформатора, а охладитель *6* совершенно не должен оказывать никакого влияния на степень разрежения в баке трансформатора.

С целью ускорения сушки, избежания тепловых потерь и предупреждения образования конденсации паров влаги внутри бака следует особо тщательно утеплить крышку и верх бака

трансформатора огнестойкой теплоизоляцией: листовым асбестом *2* и асбестовым полотном *4* или матами из стекловолокна, шлаковой ваты, штукатуркой асбестовой или глиняной и т. п. Необходимо подчеркнуть, что применять для утепления мешковину, строительный войлок, опилки, стружки и иные легковоспламеняющиеся материалы воспрещается.

На все время сушки трансформатора должен быть установлен отдельный пожарный пост со всеми необходимыми противопожарными средствами. Курение в помещении, где производится сушка, не разрешается.

Для сушки трансформатора пригоден любой внешний паровой или электрический обогрев. Наиболее предпочтительным в настоящее время является нагрев «методом потерь в стали бака», т. е. индукционный метод нагрева. При этом методе на

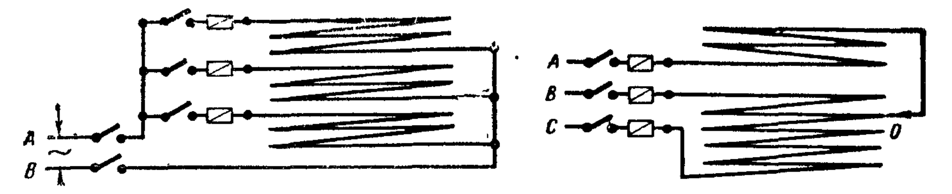


Рис. 223. Схема питания однофазным током секций намагничивающей обмотки, соединенных параллельно

Рис. 224. Схема питания трехфазным током секций намагничивающей обмотки, соединенных звездой

стенки бака по всей его высоте поверх тепловой изоляции наматывается по возможности ближе к стенкам намагничивающая обмотка изолированным (желательно с теплостойкой изоляцией) проводом с прокладкой его по асбесту на деревянных рейках. Витки в нижней и верхней частях бака располагаются (при горизонтальной намотке) несколько гуще, чем в средней части. Для более быстрого и равномерного прогрева трансформатора, при высоте бака более 2 *м*, обмотку следует выполнять более тонким проводом из нескольких отдельных секций.

Если трансформатор имеет съемные радиаторы, то сушка производится без них, если же трансформатор имеет трубчатый или ребристый бак, то намагничивающая обмотка наматывается поверх труб или ребер.

При питании однофазным током секции обмотки соединяются параллельно и температура регулируется периодическим включением и отключением любой комбинации секций (рис. 223). При питании трехфазным током секции обмотки соединяются звездой, при этом направление тока в средней секции должно быть обратным по отношению к верхней и нижней секциям (рис. 224). Направление намотки всех фаз одинаковое;

пофазная регулировка тока при этой схеме соединения намагничивающей обмотки может быть осуществлена перемещением общей точки 0 звезды; при этом ток в фазах выравнивается, когда число витков в средней фазе составит примерно 40% числа витков одной из крайних фаз.

Передача тепла от стенок бака к внутренним частям выемной части трансформатора затруднена, особенно при наличии внутри баковой изоляции (рубашки). Поэтому обязательно следует производить обогрев дна бака, чтобы восходящий тепловой поток ускорил и обеспечил более равномерный прогрев сердечника и всей внутренней изоляции.

С этой же целью, а также во избежание образования конденсации влаги в течение всего подогрева трансформатора бак вентилируется продувкой подогретого до 100—105° наружного воздуха или азота через нижний кран бака с помощью вакуум-насоса *5* (рис. 222) при постоянном допустимом вакууме. При нагреве всех внутренних частей трансформатора до температуры 100—105° следует начать постепенное равномерное повышение вакуума на 0,1 *ат* в час, до предельно допустимой величины для данного типа трансформатора.

Моменту полного разогрева всей массы изоляции соответствует минимальная величина сопротивления изоляции обмоток и максимальная величина тангенса угла потерь и емкости. С этого момента и следует начать подъем вакуума. Остаточное давление в баке паровоздушной смеси при неполиом (ограиниченном) вакууме затрудняет процесс испарения влаги, поэтому до полного прекращения выделения ее из изоляции трансформатора необходимо продолжать отсос из бака увлажненного воздуха указанным выше способом.

При сушке необходимо строго следить и регулировать подогрев выемной части, чтобы температура ее держалась равномерной и не превышала 105—110°, температура стенок бака — 120—125°, а дна бака — 110—115°. Затруднения в поддержании указанных температур указывают на недостаточность отепления бака.

Сушка считается законченной, если полностью прекратится выделение конденсата влаги при одновременном выполнении следующих условий:

а) сопротивление изоляции обмоток, постепенно повышаясь, останется при постоянной температуре 105—110° в течение последних 8 *час* неизменным;

б) тангенс угла изоляции обмоток при неизменной температуре сушки 105—110°, постепенно уменьшаясь, останется неизменным в течение 8 *час* подряд.

По окончании сушки следует отключить нагрев и, не снижая предельно возможного вакуума, снизить температуру внутри бака до 80—85°, произвести заливку трансформатора сухим

чистым маслом, имеющим пробивное напряжение не ниже 45 *кв*, через верхний кран на крышке. После заполнения выемную часть трансформатора необходимо выдержать в масле при этом же вакууме в течение 3 *час* — для трансформаторов напряжением 110 *кв* и 5 *час* — для трансформаторов 154—220 *кв*. Затем следует снять вакуум, взять пробу масла из нижнего крана и выдержать выемную часть трансформатора в масле еще в течение 1 *час*, после чего приступить к ее проверке и монтажу трансформатора с заливкой масла под вакуумом.

§ 6. НАЛАДКА ГАЗОВОЙ ЗАЩИТЫ

Назначение газовой защиты. Газовая защита трансформатора имеет весьма важное значение, своевременно выявляя опасные повреждения в трансформаторе и упуск масла из его бака. В случае необходимости газовая защита может подать не только звуковой и световой сигналы, но и произвести отключение выключателей с обеих сторон трансформатора и тем самым прекратить питание электрическим током мест повреждений и развитие аварии.

Внешний и внутренний осмотр газовых реле. При внешнем осмотре проверяется целость корпуса реле, отсутствие течи из кранов маслопровода, кранов на крышке реле и спускного крана, целость стекла смотрового окна и плотность его прилегания, целость проходных изоляторов, выводов от контактов, их армировки, контактных соединений. Проверяется также наличие всех крепежных болтов, надписей и обозначений, стрелки, указывающей направление от бака трансформатора к расширителю.

При внутреннем осмотре выемная часть газового реле извлекается из корпуса, для чего предварительно закрывается кран на трубопроводе между корпусом реле и расширителем и из корпуса реле через нижний кран трансформатора сливается масло. Вывинчиваются крепежные болты и снимается крышка реле. При осмотре выемной части производится тщательная проверка всех элементов реле, надежность их крепления и правильность установки. Особое внимание обращается на установку и крепление грузов, регулирующих плавучесть поплавков и чувствительность лопасти.

Производится тщательный осмотр поплавков и проверяется отсутствие вмятин, трещин и дефектов паек. Проверяются легкость хода движущихся частей, гибкость проводов, которые не должны мешать перемещению подвижных частей реле. Проверяется установка в реле ртутных контактов с выводами.

Проверяется отсутствие трещин (в стеклянных баллончиках), особенно в местах впайки электродов. Стекло баллончи-

ков ртутных контактов должно быть прозрачным, не иметь внутри налетов и шероховатостей. Контакты должны быть залиты ртутью в количестве, обеспечивающем надежное замыкание контактов при срабатывании поплавков.

Стеклянные баллончики с ртутными контактами должны быть установлены так, как это показано на рис. 225, чтобы в нормальном состоянии, когда контакт разомкнут (рис. 225, *а*), расстояние от поверхности ртути до второго электрода, не погруженного в ртуть, составляло 3—4 *мм*. При замыкании контакта (рис. 225, *б*) ртуть должна заливать оба контакта одинаково.

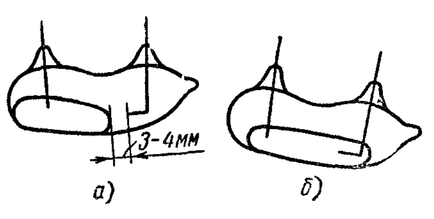


Рис. 225. Стеклянный баллончик с ртутными контактами:
а — контакты разомкнуты, *б* — контакты замкнуты

Проверяются наличие и правильность маркировки полярности выводов на крышке реле. Плюс во избежание преждевременного выхода из строя контактов должен присоединяться к электроду, имеющему постоянный контакт с ртутью. Кроме того, проверяются состояние уплотнений краников, прокладок во фланцах патрубков и у крышки реле.

Испытание поплавков и ртутных контактов на герметичность. Герметичность поплавков вновь устанавливаемых реле рекомендуется предварительно проверить в горячей воде или горячем масле. Поплавки без ртутных контактов погружаются на 2 *мин* в сосуд с водой, нагретой до 85—95°, или трансформаторное масло, нагретое до 100—120° так, чтобы слой воды или масла над ними был не менее 25 *мм*. При наличии неплотности из поплавков выделяются пузырьки воздуха.

Поплавки, выдержавшие предварительные испытания в горячей воде или в горячем масле, подвергаются окончательному испытанию на герметичность в масле избыточным давлением 1,5 *ати* при температуре 70—90° или давлением 3—4 *м* масляного столба в течение 2—3 суток. Продолжительность испытания должна быть не менее 8 *час*. До и после испытания под давлением поплавки должны быть промыты в бензине, тщательно просушены и взвешены на весах с точностью взвешивания 0,1 *г*.

До испытания после взвешивания поплавки маркируются и на каждом поплавке маслоупорной краской или иглой наносится номер и вес. Вес поплавков заносится в протокол испытаний. Сравнивая вес поплавков до и после испытаний давлением, судят о герметичности поплавков. Увеличение веса поплавка за

время испытаний более чем на 0,1—0,2 *г* свидетельствует о его негерметичности.

Проверка плавучести поплавков и исправности ртутных контактов. Для проверки газового реле на плавучесть поплавков следует применять сосуд с прозрачными стенками. На рис. 226 изображен сосуд квадратной формы, примененный в ОРГРЭС для испытания газовых реле. На время испытания сосуд заполняется маслом. Плавно погружая и поднимая в испытательном сосуде выемную часть реле, за-

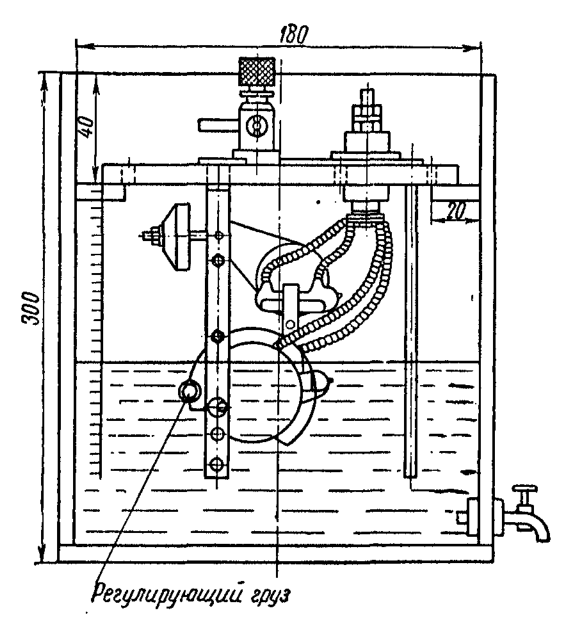


Рис. 226. Сосуд для испытания газового реле

ставляют поплавки всплывать и опускаться, размыкая и замыкая контакты. При этом проверяют легкость перемещений поплавков на осях, отсутствие заеданий движущихся частей, гибкость проводов.

Плавучесть поплавков проверяется после их испытания на герметичность и проверки правильности установки ртутных контактов. Затем проверяется отсутствие проводимости разомкнутых ртутных контактов. Проверка производится мегомметром 1000 *в* при погруженной в испытательный сосуд с маслом выемной части реле. Исправный контакт при проверке мегомметром не должен давать свечения и через него не должен протекать ток; сопротивление изоляции должно быть равно бесконечности ($R_{изм} = \infty$). Дефектные контакты при этой проверке дают

фиолетовое свечение, пропускают большой ток, сопротивление их изоляции близко к нулю. Такие контакты должны заменяться. Качество ртутных контактов, кроме того, проверяется десятикратным замыканием и размыканием тока.

У реле ПГ-22 и других реле отечественного производства контакты испытываются постоянным током величиной 0,8—1 *а* при напряжении до 220 *в*. Схема испытания ртутных контактов приведена на рис. 227.

Замыкание и размыкание контактов производятся плавным опусканием и подъемом выемной части реле из масла в прозрачном сосуде. При замыкании и размыкании не должно быть растягивания дуги и обгорания электродов. После испытания стекло, ртуть и электроды должны быть чистыми, без копоти и нагара.

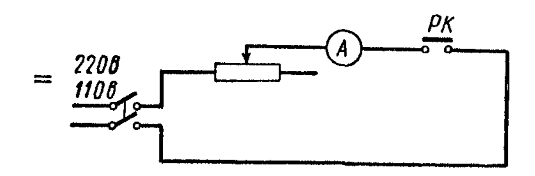


Рис. 227. Схема испытания ртутных контактов:

А — амперметр, *РК* — ртутный контакт

Настройка и проверка отключающих элементов газовых реле. При настройке отключающих элементов газовых реле необходимо, чтобы чувствительность отключающих элементов газовых реле была достаточной для срабатывания их при скорости потока масла не менее 0,5 *м/сек*. При наличии устройства для регулирования чувствительности допускается еще большее загрубление реле: для трансформаторов с естественной циркуляцией масла мощностью до 20 тыс. *ква* включительно в диапазоне 1—1,5 *м/сек*.

Вновь устанавливать газовые реле, чувствительность отключающих элементов которых неизвестна, запрещается. При наличии данных испытаний и характеристик чувствительности отключающих элементов газовые реле могут устанавливаться по этим данным и характеристикам.

Если на трансформаторе, снабженном дифференциальной защитой, применено газовое реле, срабатывающее при скорости потока масла менее 0,5 *м/сек*, или в случае отсутствия данных о чувствительности, отключающий элемент газового реле включается на сигнал. В этом случае сигнализация отключающего элемента должна отличаться от нормальной сигнализации верхнего поплавка.

Указания по настройке отключающих элементов некоторых газовых реле. Отключающие поплавки газовых реле ПГ-22 ЗТЗ, а также модернизированных реле ПГ-22 МТЗ, благодаря внесенным конструктивным изменениям не нуждаются в загрублении добавочным грузом. Как показали испытания, для того чтобы обеспечить срабатывание контактов отключающих поплавков этих реле при скорости потока масла не менее 0,5 *м/сек*, необходимо регулирующий груз отключающего поплавка установить так, чтобы он создавал наибольший тормозящий момент (в сторону размыкания контакта). По данным испытаний этих реле построена (рис. 228) зависимость момента плавучести отключающего поплавка от скорости потока масла $M = f(v)$. По кривой *1* можно производить проверку и настройку модернизированных реле МТЗ и реле ЗТЗ на срабатывание при заданной скорости потока масла.

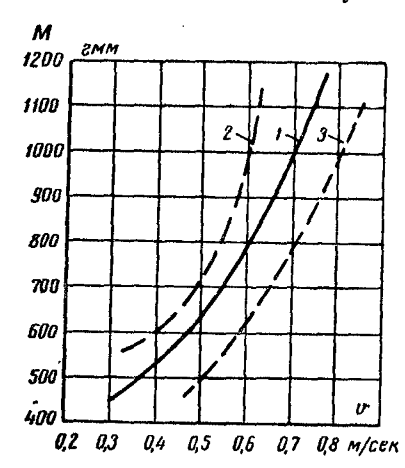


Рис. 228. Зависимость момента плавучести от скорости потока масла $M = f(v)$ отключающего поплавка модернизированных реле ПГ-22 ЗТЗ и ПГ-22 МТЗ:

1 — средние значения $M = f(v)$, *2* и *3* — границы разброса значений $M = f(v)$

Настройка сигнальных поплавков газовых реле. Сигнальный поплавок газового реле должен срабатывать (замыкать контакт) при вытеснении газом определенного для данного типа реле объема масла из верхней части реле. Чувствительность сигнального поплавка реле ПГ-22 ХЭТЗ, МТЗ и ЗТЗ может регулироваться перемещением груза сигнального поплавка, т. е. изменением его плавучести. Сигнальные поплавки других газовых реле приспособлений для регулировки чувствительности не имеют, их чувствительность можно изменить лишь в небольших пределах перемещением контактов.

Настройку и проверку чувствительности сигнальных поплавков, имеющих регулировку, требуется производить лишь после разборки, нарушающей прежнюю регулировку, например для проверки герметичности поплавка при новом включении или для ремонта. Для проверки и регулировки чувствительности сигнального поплавка выемная часть реле устанавливается крышкой на полки испытательного сосуда, наполненного маслом (рис. 226).

Сливая через нижний кран масло, замечают на шкале, нанесенной на стенке сосуда, при каком понижении уровня сра-

батывает сигнальный контакт. Момент замыкания контактов фиксируется сигнальной лампой. Шкала на сосуде может быть градуирована непосредственно в кубических сантиметрах. Для этого соответствующие расстояния от крышки реле по шкале смотрового стекла наносятся на шкалу испытательного сосуда. Для определения чувствительности сигнального поплавка в испытательном сосуде не требуется снимать корпус реле с маслопровода. Определение чувствительности сигнального поплавка реле, не установленного на трансформаторе, может быть также произведено в собственном корпусе реле (рис. 229).

На боковые фланцы кожуха реле ставятся заглушки и в залитый маслом кожух вставляется выемная часть реле. Крышка реле должна при этом устанавливаться на прокладки для учета подъема ее на толщину этих прокладок. Верхний кран *2* служит для выпуска газа или воздуха, через нижний кран (пробку) *3* постепенно спускается масло. На сигнальный контакт включается лампочка или другой указатель. Момент замыкания контактов фиксируется загоранием лампочки или срабатыванием другого указателя, и по уровню масла на шкале отмечается объем воздуха в корпусе реле. Кроме того, наблюдение за уровнем масла производится через смотровое окно *1*.

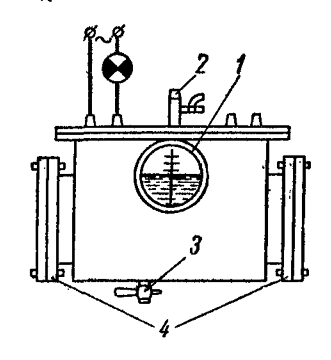


Рис. 229. Корпус газового реле, приспособленный для проверки сигнального поплавка при понижении уровня масла:

1 — смотровое окно, *2* — кран для выпуска газа, *3* — кран для спуска масла, *4* — заглушки

При проверке газовой защиты на месте в реле при помощи насоса накачивается воздух через нижний краник реле. При нагнетании воздуха в реле происходит сперва замыкание сигнального контакта верхним поплавком, а затем отключающего контакта нижним поплавком. При малой мощности насоса, чтобы обеспечить работу реле на отключение, следует закрыть кран на маслопроводе от трансформатора к расширителю.

Испытания электрической прочности изоляции цепей газовой защиты. При проверках производится испытание изоляции цепей газовой защиты при полностью собранной схеме на корпус и между жилами мегомметром на напряжение 1000—2500 *в*. При первом включении производится испытание изоляции токоведущих частей и жил контрольного кабеля относительно корпуса и между собой напряжением 1000 *в* переменного тока в течение 1 *мин*. При испытании изоляции между жилами кабеля приложенным напряжением ртутные контакты реле должны быть отсоединены.

Проверка реле на панели и схемы газовой защиты. При испытании схемы газовой защиты проверяется напряжение срабатывания и возврата промежуточных реле и ток срабатывания сигнальных реле. Кроме того, правильность собранной схемы проверяется осмотром цепей на панели защиты и прозвонкой кабелей с одновременной проверкой правильности маркировки реле, отключающих устройств, сигнальных ламп, сборок зажимов и жил кабелей. По окончании проверки схемы испытывается изоляция цепей защиты. После этого проверяется надежность контактных соединений и затем производится проверка взаимодействия реле при напряжении оперативного тока, равном 0,8 $U_{ном}$, при этом производится опробование действия сигнализации и защиты на отключение выключателей.

Результаты всех проверок и основные паспортные данные защищаемого трансформатора и газовых реле заносятся в протокол.

§ 7. ПРОВЕРКА УСТРОЙСТВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Для контроля за температурой верхних слоев масла в карманы, расположенные на крышке трансформаторного бака, помещаются термометры. Для небольших трансформаторов (до 1000 *ква*) применяются ртутные термометры (рис. 230, *а*, *б*) и ртутно-контактные термометры (рис. 231).

На трансформаторах 1000 *ква* и выше устанавливаются главным образом манометрические термометры — термосигнализаторы (рис. 232), состоящие из термобаллона *1*, заполненного жидким эфиром, капиллярной трубки *2*, соединяющей термобаллон с полой пружиной, указательного прибора — манометра *3* со шкалой *5*, градуированной в градусах Цельсия. Стрелки прибора могут быть установлены на необходимую температуру при помощи корректоров *4*. На стрелке манометра и на шкале укрепляются контакты *6*, которые при замыкании подают импульс на сигнал или отключение трансформатора при достижении заранее установленной предельной допустимой температуры.

Перед установкой на трансформатор термосигнализаторы должны пройти проверку. Проверка сводится к сравнению показаний термосигнализатора и эталонного ртутного термометра, помещенного в бачок с водой. Подогревая воду в бачке, записывают показания приборов при различных температурах. Показания не должны отличаться больше чем на 3—4°.

На мощных трансформаторах устанавливают также термометры сопротивления, включаемые в электрическую схему из-

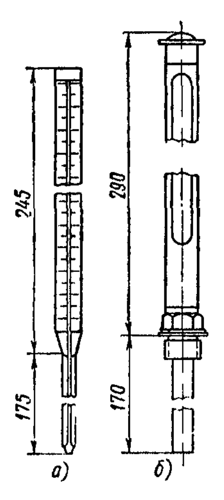


Рис. 230. Ртутные термометры:

а — ртутный термометр без оправы, *б* — оправа ртутного термометра

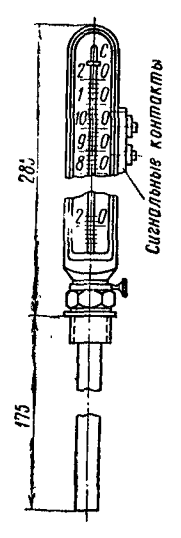


Рис. 231. Ртутно-контактный термометр

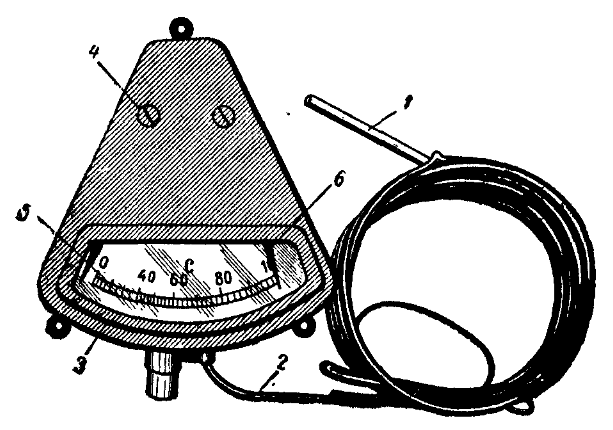


Рис. 232. Термосигнализатор ТС-100

мерения температуры (рис. 233), в которой в качестве указателя температуры применен логометр.

Схема состоит из датчиков сопротивлений *1*, которые под действием температуры меняют свое сопротивление, чувствительного логометра *3*, переключателя *2*, при помощи которого выбирается та или иная точка измерения. Логометр и переключатель располагают в месте, откуда производят дистанционное измерение температуры, например, на щите управления или в других местах.

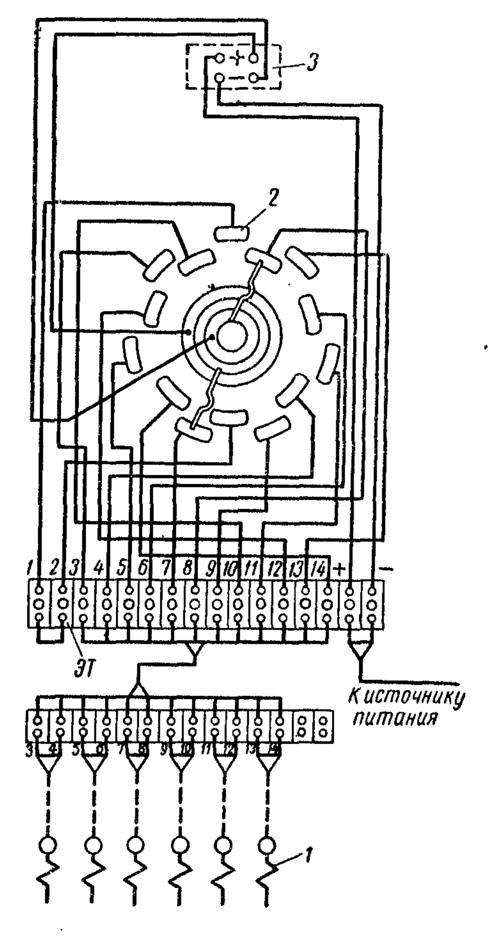


Рис. 233. Монтажная электрическая схема измерения температуры с помощью термометров сопротивления и логометра

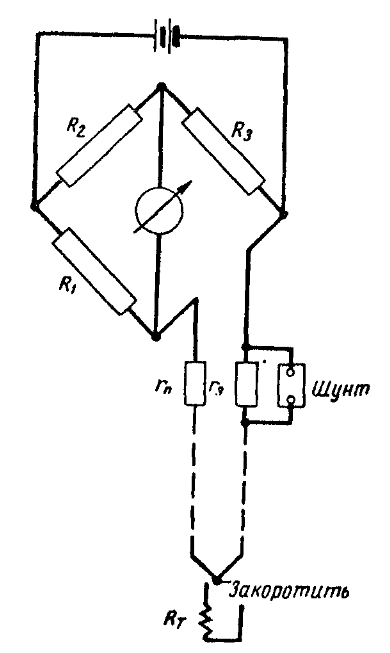


Рис. 234. Схема проверки термометра сопротивления

При проверке термометра сопротивления применяют схему, показанную на рис. 234. Соединительные провода отсоединяют на трансформаторе от термометра сопротивления и замыкают накоротко. Затем снимают шунт и закорачивают эталонную катушку. Таким образом, вместо сопротивления термометра $R_т$ в цепь соединительных проводов включается эталонная катуш-

ка $r_э$, сопротивление которой равно сопротивлению термометра $R_т$ при температуре, равной той, при которой производилась на заводе градуировка. Эта температура отмечена на шкале прибора специальной чертой красного или черного цвета. При включении напряжения стрелка прибора обычно отклоняется вправо от черты, так как градуировка на заводе производилась без учета сопротивления соединительных проводов. Затем постепенно сматывая часть витков с подгоночного сопротивления $r_п$, стрелка прибора устанавливается на черте. После этого ставится на место шунт эталонной катушки, а соединительные приборы размыкаются и присоединяются к сопротивлению $R_т$. На этом проверка термометра сопротивления заканчивается.

§ 8. ИСПЫТАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Методы, схемы и нормы испытаний. Испытание главной изоляции первичных обмоток и вводов повышенным напряжением переменного тока промышленной частоты производится по той же схеме (рис. 209), что и для силовых трансформаторов. При испытании повышенным напряжением проверяется исправность изоляции, выявляются грубые дефекты в ней и контролируются запасы электрической прочности конструкций. Нормы испытательных напряжений для обмоток и вводов измерительных трансформаторов приведены в табл. 35.

Указанному испытанию в обязательном порядке подвергаются только измерительные трансформаторы напряжения 35 *кв* и ниже. Испытание измерительных трансформаторов с номинальным напряжением выше 35 *кв* необязательно. Испытанию подвергается изоляция каждой из обмоток, электрически не связанной с другими обмотками.

Испытательное напряжение от специального испытательного трансформатора прикладывается между испытуемой обмоткой, замкнутой накоротко, и корпусом (заземленным баком), с которым соединяются магнитная система и все прочие замкнутые накоротко обмотки испытуемого трансформатора (рис. 209). У испытательного трансформатора один вывод заземлен.

Вторичные обмотки трансформаторов тока испытываются между токоведущими и заземленными частями, а также между токоведущими частями различных цепей (рис. 235). Изоляция измерительных трансформаторов (тока и напряжения) считается выдержавшей испытание на электрическую прочность, если в процессе испытания не наблюдалось пробоя или частичных нарушений изоляции, разрядов, выделения газа и дыма.

Испытание повышенным напряжением изоляции всех трансформаторов напряжения производится при температуре масла,

равной температуре окружающего воздуха, а для трансформаторов напряжения 35 ÷ 220 *кв* — при температуре верхних слоев масла 60 ÷ 75°. Продолжительность испытания 1 *мин.*

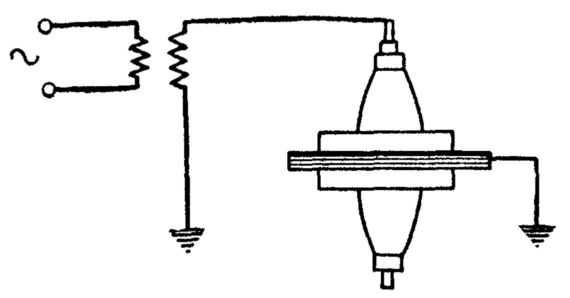


Рис. 235. Схема испытания повышенным напряжением трансформаторов тока

Таблица 35

Величина испытательного напряжения переменного тока промышленной частоты для главной изоляции первичных обмоток и вводов измерительных трансформаторов

(ГОСТ 1516—60)

Испытуемое оборудование	Испытательное напряжение, *кв*										
	При номинальном напряжении, *кв*										
	3	6	10	15	20	35	60	80	110	150	220
Трансформаторы тока	24	32	42	55	65	95	140	190	250* 200	320* 275	470* 400
Трансформаторы напряжения	24	32	42	55	65	95	105	140	200	275	400

* Для аппаратов с внутренней изоляцией в масле, у которых внешняя изоляция испытана отдельно.

Испытание повышенным индуктированным напряжением переменного тока производится для витковой изоляции всех обмоток трансформаторов напряжения, у которых только один из концов обмоток имеет изоляцию выводов, рассчитанную на номинальное напряжение. После испытания главной изоляции производится испытание изоляции витков при двойном номинальном напряжении, которое подводится к одной из обмоток (обычно низшего напряжения). Остальные обмотки при этом разомкнуты. Для сохранения индукции в стали трансформатора в пределах расчетного испытательное напряжение подводится величиной 130% номинального напряже-

ния при промышленной частоте (50 *гц*) или двойное напряжение при двойной частоте (100 *гц*) [1].

Испытывать изоляцию витков напряжением большим чем 1,3 $U_{ном}$ при частоте 50 *гц* нельзя, так как при этом индукция в стали возрастает до недопустимых пределов. Длительность испытания 3 *мин*. Трансформатор считается выдержавшим испытание, если при испытании не были отмечены разряды в баке, выделение газа или же толчки и увеличение тока.

Измерение сопротивления изоляции первичных обмоток мегомметром производится точно так

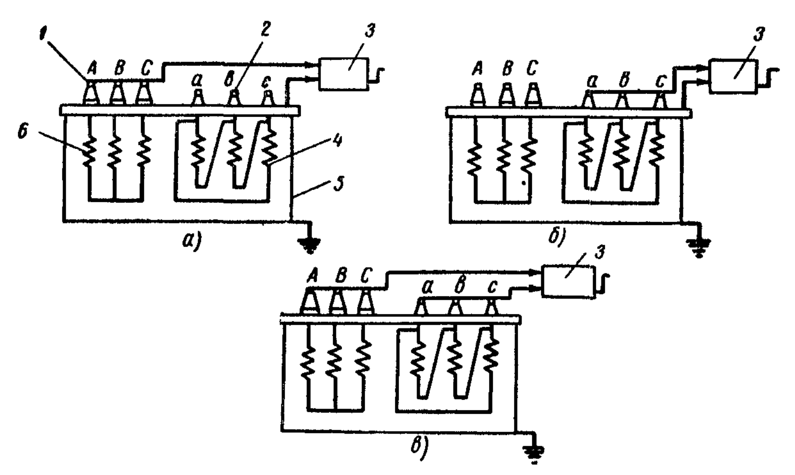


Рис. 236. Схемы измерения сопротивления изоляции обмоток трансформаторов напряжения:

а — между первичной обмоткой и корпусом, *б* — между вторичной обмоткой и корпусом, *в* — между первичной и вторичной обмотками; *1* — выводы первичной обмотки, *2* — выводы вторичной обмотки, *3* — мегомметр, *4* — вторичная обмотка, *5* — корпус, *6* — первичная обмотка

же, как и у обмоток силовых трансформаторов. Величина сопротивления изоляции не нормируется. Измерение сопротивления изоляции должно производиться мегомметром со шкалой не менее чем на 10 000 *Мом*, например переносным мегомметром МС-05 на напряжение 2500 *в*. Схемы измерения сопротивления изоляции обмоток трансформаторов напряжения приведены на рис. 236, схемы проверки трансформаторов тока с помощью мегомметра — на рис. 237.

Измерение тангенса угла диэлектрических потерь (tg δ) вводов первичных обмоток. Измере-

[1] Для трансформаторов напряжения, предназначенных для работы в сетях с незаземленной нейтралью, номинальным напряжением считается линейное напряжение системы.

ния производятся только для вводов маслонаполненных, из бакелита и прочих гигроскопических изоляционных материалов. При измерении тангенса угла диэлектрических потерь трансформаторов напряжения имеется ряд особенностей, обусловленных большой индуктивностью обмоток. Реактивный ток, протекающий через большую индуктивность, создает потерю напряжения, сравнимую с приложенным напряжением, что приводит к искажению полученных результатов. Для контроля состояния изоляции обмоток трансформаторов напряжения может быть применена нормальная схема моста (рис. 51) при закороченной обмотке низшего напряжения. Измерения $\operatorname{tg}\delta$ маслонаполнен-

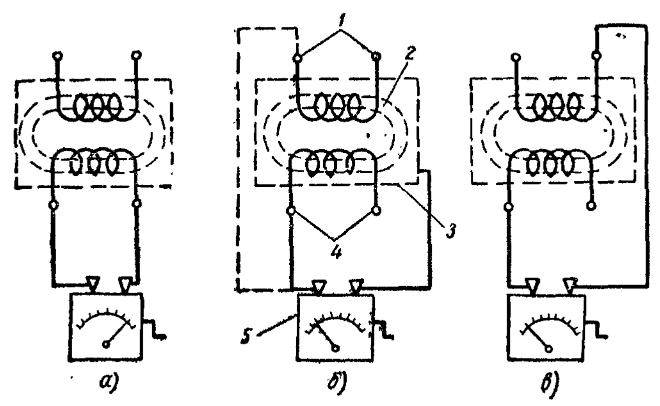


Рис. 237. Схемы проверки трансформаторов тока:

а — проверка отсутствия обрыва в цепи вторичной обмотки, *б* — измерение сопротивления изоляции первичной (пунктир) и вторичной обмоток по отношению к корпусу, *в* — измерение сопротивления изоляции между первичной и вторичной обмотками; *1* — зажимы первичной обмотки, *2* — магнитопровод, *3* — корпус трансформатора, *4* — зажимы вторичной обмотки, *5* — мегомметр

ных и других гигроскопических вводов производится по «перевернутой» схеме моста (рис. 4 и 51), при этом делаются два перекрестных измерения с подачей высокого напряжения на один ввод, а экрана на второй, и наоборот. Указанные схемы измерения приведены на рис. 238, *а*, *б*.

Для оценки состояния изоляции вводов необходимо сравнить измеренный угол диэлектрических потерь обмотки по нормальной схеме с каждым из перекрестных измерений. Если $\operatorname{tg}\delta$ обмотки мал, а $\operatorname{tg}\delta$ ввода велик, то возможна дефектность концевой изоляции или обоих вводов.

Это предположение проверяется измерением токов утечки на выпрямленном напряжении и проверкой качества масла. Если при измерении одного из вводов будет получен $\operatorname{tg}\delta$, значительно превышающий $\operatorname{tg}\delta$ другого, значит этот ввод дефектен и

тем больше, чем больше разность величин $\operatorname{tg} \delta$. В том случае, когда $\operatorname{tg} \delta$, измеренный по нормальной схеме, большой и того же порядка, что и $\operatorname{tg} \delta$, измеренный по перевернутой схеме, необходимо предположить плохое качество изоляции обмоток. Угол диэлектрических потерь вводов должен находиться для вновь вводимых вводов в пределах от 2 до 5%.

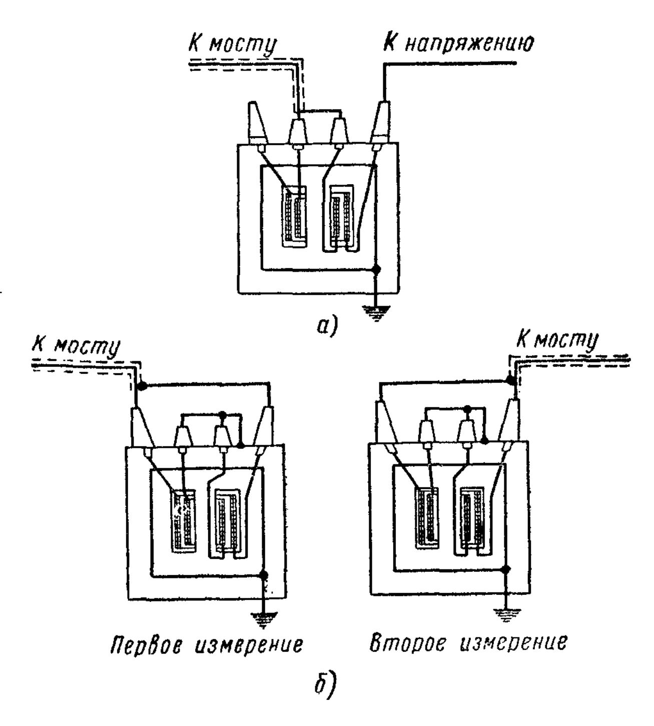


Рис. 238. Схемы измерения тангенса угла диэлектрических потерь трансформаторов напряжения:

а — по нормальной схеме моста, *б* — по перевернутой схеме моста

Испытание изоляции доступных стяжных болтов производится только при вскрытии трансформаторов напряжения. Методика испытаний та же, что и для силовых трансформаторов.

Измерение тока холостого хода трансформаторов напряжения и снятие кривой намагничивания трансформаторов тока. Измерение тока холостого хода трансформаторов напряжения производится так же, как измерение тока холостого хода силовых трансформаторов.

Характеристика намагничивания трансформатора тока снимается согласно схеме, изображенной на рис. 239, *а*. Регулируя реостатом сопротивления R, мы изменяем напряжение U_2 на зажимах вторичной обмотки трансформатора тока *TT*, затем измеряем соответствующий каждому значению U_2 ток во вторичной обмотке трансформатора тока *TT*, который является током намагничивания $I_{2ном}$. На основании полученных измерений (4—5 точек) строится характеристика намагничивания трансформатора $U_2=f(I_{2ном})$ (рис. 239, *б*).

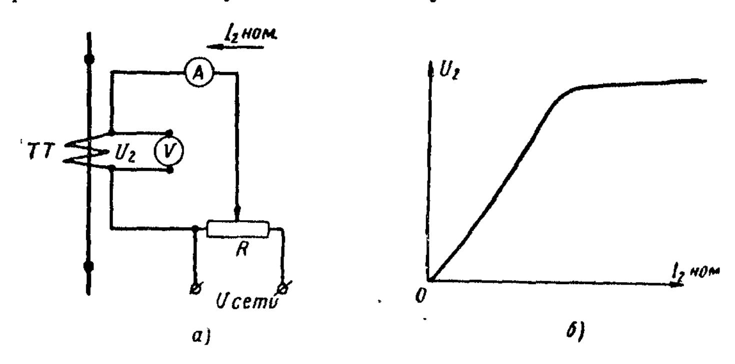


Рис. 239. Снятие характеристики намагничивания трансформатора тока:

а — схема испытания. *б* — кривая намагничивания $U_2=f(I_{2ном})$

Глава пятая

ИСПЫТАНИЕ И НАЛАДКА КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ И ДРУГИХ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ УСТРОЙСТВ

§ 1. ИСПЫТАНИЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Виды выключателей. В электроустановках применяются масляные и воздушные выключатели, резко отличающиеся друг от друга как по принципам действия, так и конструкциям. Наладка этих выключателей, в особенности воздушных, требует специальной теоретической и практической подготовки. На рис. 240—242 показаны характерные конструкции масляных и воздушных выключателей. В настоящей главе приведены основные методы испытаний и способы наладки указанных видов выключателей.

Масляные выключатели. Главными изолирующими частями масляных высоковольтных выключателей являются проходные изоляторы (вводы) и изоляционные тяги подвижных частей выключателей (рис. 240 и 241). Их изоляция рассчитывается на полное номинальное напряжение масляного выключателя.

Кроме главной изоляции, в баке масляного выключателя имеется значительное количество изоляционных деталей: направляющие камеры, деионные решетки, экраны камер и баков и т. п., играющих вспомогательную роль с точки зрения изоляции. Все указанные изоляционные конструкции вместе с маслом составляют внутрибаковую изоляцию.

При измерении угла диэлектрических потерь вводов выключателей на результаты измерений оказывает влияние также состояние всей вспомогательной изоляции, представляющей ряд параллельно включенных емкостей. Чем больше величина этой дополнительной емкости и угол диэлектрических потерь, тем большее влияние они будут оказывать на результаты измерения.

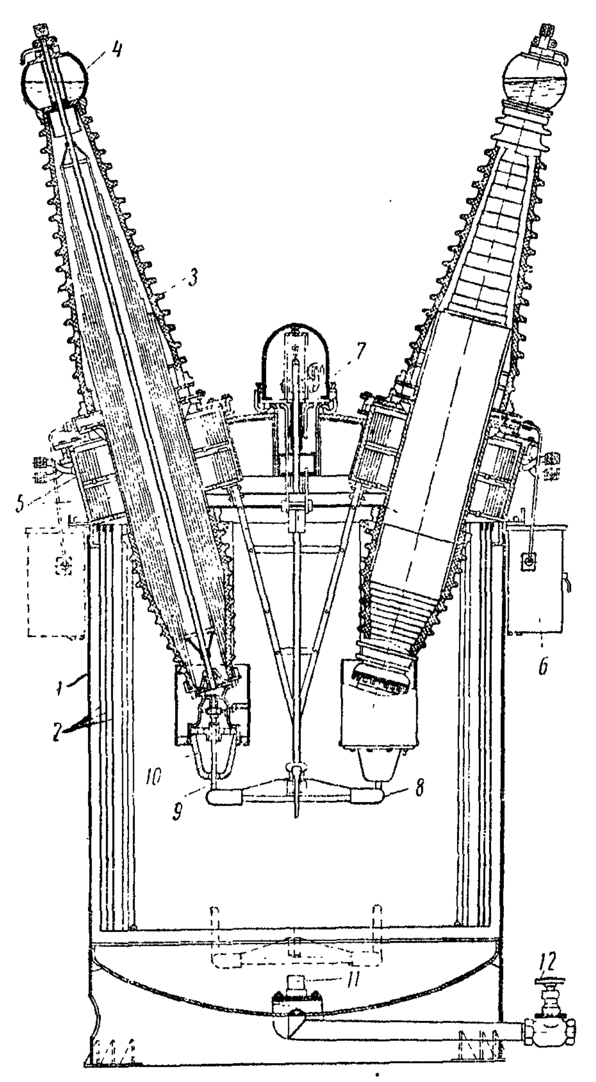


Рис. 240. Разрез фазы масляного выключателя МКП-220:

1 — бак, *2* — изоляция бака, *3* — фарфоровый маслонаполненный проходной изолятор с дополнительной бакелитовой изоляцией токоведущего стержня, *4* — стеклянный расширитель изолятора, *5* — встроенные трансформаторы тока, *6* — устройство для измерения напряжения, *7* — приводной механизм, *8* — контактная траверса, *9* — подвижный контакт, *10* — дугогасительная камера, *11* — масляный буфер, *12* — масловыпускной вентиль

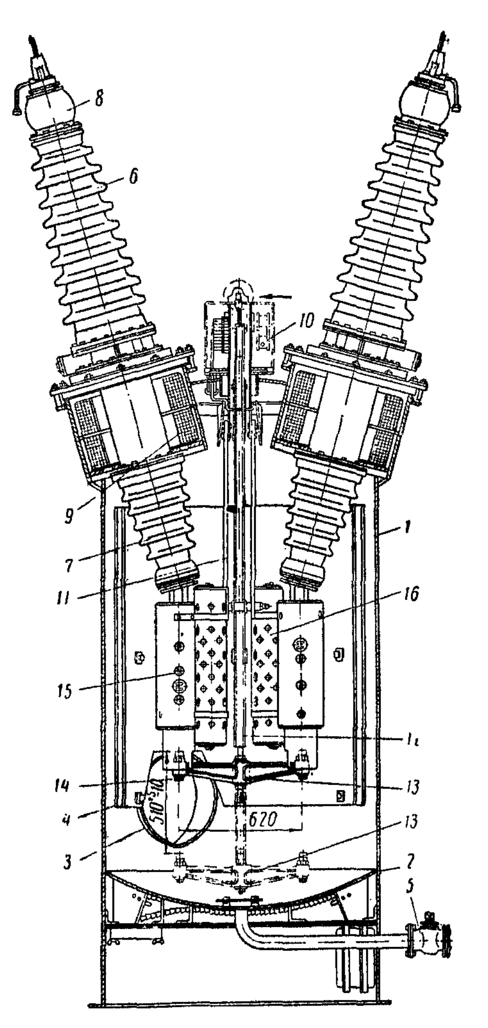


Рис. 241. Разрез фазы масляного выключателя МКП-110М:

1 — бак, *2* — днище бака, *3* — лаз, *4* — изоляция бака, *5* — маслоспускной вентиль, *6* и *7* — верхняя и нижняя части проходного изолятора, *8* — стеклянный расширитель, *9* — встроенные трансформаторы тока, *10* — приводной механизм, *11* — направляющее устройство, *12* — изолирующая штанга, *13* — контактная траверса (положение «включено»), *13'* — контактная траверса (положение «отключено»), *14* — подвижной контакт, *15* — гасительные камеры, *16* — шунтирующие сопротивления в изоляционных цилиндрах

Наибольшее влияние на результаты измерения угла диэлектрических потерь вводов оказывает внутрибаковая изоляция выключателей типа ВМ-35.

В случае повышенного $\operatorname{tg} \delta$ (угла диэлектрических потерь) вводов на выключателях производят измерения с исключением влияния внутрибаковой изоляции. Для этого опускают баки выключателей настолько, чтобы нижняя часть дугогасительных и контактных устройств находилась вне масла, и производят повторные измерения угла диэлектрических потерь вводов. Если угол диэлектрических потерь ввода остается выше нормы, то производят тщательную протирку внутренней части ввода, снимают или шунтируют проводником гасительные устройства и повторяют измерения.

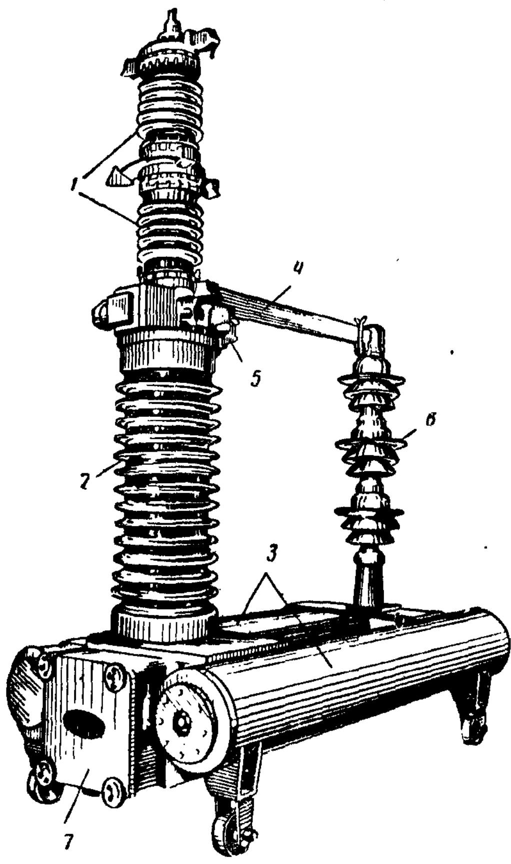


Рис. 242. Фаза воздушного выключателя ВВН-110 на 110 *кв* и 800 *а*:

1 — фарфоровый кожух, где размещены два разрыва на фазу, *2* — фарфоровый изолятор, изолирующий выключатель от земли, *3* — тележка с двумя воздушными баллонами, *4* — отделитель, выполненный в виде ножа, *5* — воздушный привод отделителя, *6* — колонка штыревых изоляторов, на которой установлены неподвижные контакты отделителя, *7* — шкаф, в котором размещено электрическое и пневматическое управление

Таким образом удается по конечному значению $\operatorname{tg} \delta$ установить действительное состояние ввода, а по снижению $\operatorname{tg} \delta$ после каждого измерения — выяснить состояние внутрибаковой изоляции. При исключении внутрибаковой изоляции путем опускания бака и снятия дугогасительных устройств или экранов увлажненной считается та изоляция, исключение которой приводит к снижению тангенса угла диэлектрических потерь более чем на 4—5%.

При неопускающихся баках выключателей сливают из бака масло, протирают внутреннюю часть ввода, снимают экран, дуго-

гасительные устройства и т. п. Если внутрибаковая изоляция увлажнена более чем на 4—5%, то она подлежит сушке.

Контроль состояния изоляции методом определения тангенса диэлектрических потерь является обязательным для всех маслонаполненных, мастиконаполненных и бакелитовых вводов изоляторов, а также и для другого оборудования.

Предельные значения тангенса угла диэлектрических потерь вводов (вновь вводимых и вышедших из капитального ремонта) при температуре 20° должны быть не выше значений, приведенных в табл. 36. Если полученные при измерении значения выше приведенных в таблице, то ввод бракуется.

Таблица 36

Предельные значения тангенса угла диэлектрических потерь вводов (или изоляторов), вновь вводимых и вышедших из капитального ремонта

Конструкция вводов	Величина (%) для рабочего напряжения, *кв*			
	3—15	20—35	60—110	150—220
Маслонаполненные	—	3	2	2
Бакелитовые, мастиконаполненные (ВМ-35, ВМ-25 и им подобные)	5	2,5	2	—
Мастичные (МКП-76 и им подобные)	3	2	2	—
Бакелитовые	5	2,5	2	—

Тангенс угла ($\operatorname{tg} \delta$) диэлектрических потерь, как нам уже известно, измеряется специальными мостами МД-16 (рис. 51), Р525 (рис. 53) и при помощи перевернутой схемы емкостного моста (рис. 4 и 208).

Проверка состояния изоляции подвижной части выключателей может быть произведена измерением тангенса угла диэлектрических потерь вводов вместе с изоляцией подвижной части выключателей во включенном положении выключателя и измерением сопротивления изоляции тяги мегомметром непосредственно по участкам, когда у выключателя опущены баки или слито масло.

Если при измерениях состояния изоляции подвижной части угол диэлектрических потерь окажется больше среднего значения для вводов той же фазы при включенном выключателе, то производится измерение сопротивления изоляции подвижной части мегомметром отдельно для каждой фазы выключателя при включенном и отключенном его положениях. Если баки масляных выключателей опущены или из них слито масло, измерение сопротивления изоляции тяг должно производиться не-

посредственно на тягах. Оценка состояния изоляции подвижной части выключателей производится по нормам, приведенным в табл. 37.

Таблица 37

Минимальные значения сопротивления изоляции подвижной части масляного выключателя

Наименование испытаний		Номинальное напряжение аппарата, *кв*	
		3—10	20—220
Сопротивление изоляции, *Мом*	Для вновь вводимой аппаратуры	1000	3000
	Для аппаратуры, находящейся в эксплуатации	300	1000

Таблица 38

Величины испытательного напряжения в *кв* для высоковольтной изоляции масляного выключателя

Объекты испытания	Номинальное напряжение, *кв*								
	3	6	10	15	20	35	110	150	220
Опорные и проходные изоляторы при испытании совместно с аппаратом, трансформатором тока, конденсаторами связи и высокочастотной защиты	24	32	42	55	65	95	250/200*	320/275*	470/400*
При испытаниях отдельно от аппарата:									
опорные и проходные изоляторы для аппаратов и трансформаторов наружной установки	27	36	47	63	75	110	295	375	550
опорные и проходные изоляторы для аппаратов и трансформаторов внутренней установки	25	32	42	57	68	100	265	340	490

* Для аппаратов с внутренней изоляцией в масле, у которых внешняя изоляция испытана отдельно.

Испытание высоковольтной изоляции масляных выключателей повышенным напряжением промышленной частоты производится после измерений угла диэлектрических потерь вводов и сопротивления изоляции подвижной части выключателя, а также испытания масла, если все показатели этих испытаний удовлетворяют требованиям норм. Величины испытательного напряжения промышленной частоты 50 *гц* по ГОСТ 1516—60 (одноминутные) приведены в табл. 38.

Для масляных выключателей 110 *кв* и выше при отсутствии соответствующих испытательных средств эти испытания не производятся.

Выключатель испытывается во включенном положении; тем самым проверяется относительно заземленного бака изоляция всех вводов, внутрибаковая изоляция и изоляция подвижной части выключателя (рис. 240 и 241). Далее выключатель испытывается в отключенном положении, при этом один из вводов каждой фазы заземляется. Это испытание дает возможность проверить изоляцию между подвижными и неподвижными контактами выключателя.

При испытании однобаковых выключателей испытательное напряжение подается на среднюю фазу включенного масляного выключателя при наложенном заземлении на вводах других фаз.

Если за время испытания не наблюдается пробоя, разрядов и треска внутри бака или на поверхности вводов, выключатель считается выдержавшим испытание.

При получении неудовлетворительных результатов испытания у выключателя снимается ошиновка и каждый изолятор испытывается отдельно для отыскания дефектного изолятора. Сопротивление изоляции опорных изоляторов при измерении мегомметром 2500 *в* не должно быть ниже 5000 *Мом*. Снижение сопротивления изоляции опорных изоляторов воздушных выключателей чаще всего является результатом плохой продувки воздухом внутренней полости изоляторов. Этот дефект устраняется повторной продувкой.

Выключатели рассчитаны на номинальные токи и токи короткого замыкания. В связи с этим повышенное значение переходного сопротивления контактов может привести к обгоранию, оплавлению или привариванию контактов.

Измерение переходного сопротивления контактов выключателя производится между выводами пофазно приборами постоянного тока. Измерение на переменном токе затруднительно и приводит к большим искажениям результатов. Для измерения переходного сопротивления контактов часто используют микроомметр типа М-246 (рис. 55). При помощи измерительных щупов (рис. 56) и микроомметра М-246 может быть измерено пере-

ходное сопротивление как всех контактов, так и каждого в отдельности.

Измерение переходного сопротивления контактов может производиться также при помощи переносного моста постоянного тока Р316 или при помощи устройства, работающего по методу амперметра и вольтметра (рис. 243) и др.

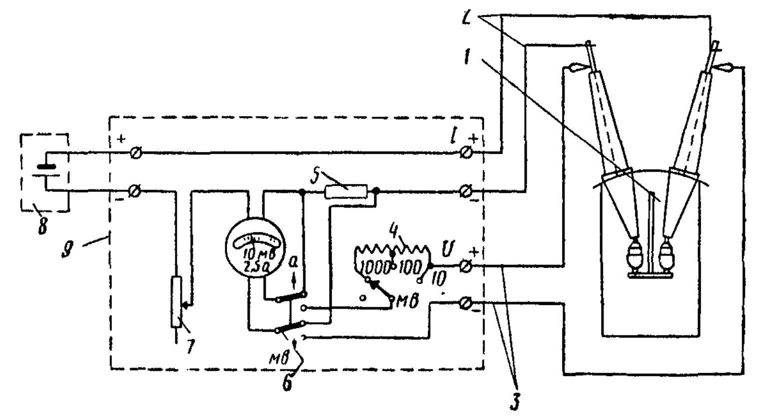


Рис. 243. Схема измерения сопротивления постоянному току контура токоведущей цепи выключателя при помощи устройства, работающего по методу амперметра и вольтметра:

1 — масляный выключатель, 2 — провода цепи тока, 3 — провода цепи напряжения, 4 — переключатель пределов измерения, 5 — шунт прибора, 6 — переключатель измерительного прибора, 7 — реостат, 8 — аккумулятор, 9 — устройство, работающее по методу амперметра и вольтметра

Сопротивление контакта подсчитывается по величине измеренного прибором тока и падения напряжения по формуле

$$R_{изм} = \frac{U_{мв}}{I_a} \cdot 1000 \ (мком).$$

В приведенной схеме шкала измерительного прибора может быть проградуирована непосредственно в микроомах. Оценка состояния контактов токоведущей цепи выключателей производится по нормам. Для примера в табл. 39 приведены нормы переходного сопротивления отдельных контактов одной фазы выключателей МКП-274 и МКП-160 (рис. 244). Для остальных типов выключателей общее переходное сопротивление контактов одной фазы выключателя устанавливается путем сравнения с измерениями на аналогичном оборудовании и других фазах этого же выключателя. Переходное сопротивление всей фазы выключателя не должно превосходить величин, указанных в табл. 40.

По величине переходного сопротивления всей цепи фазы выключателя трудно судить об отдельных контактах, входящих в

цепь токоведущего контура выключателя. Однако установлено, что неисправность какого-либо контакта большей частью приводит к резкому увеличению общего сопротивления цепи и чаще всего за счет подвижных контактов.

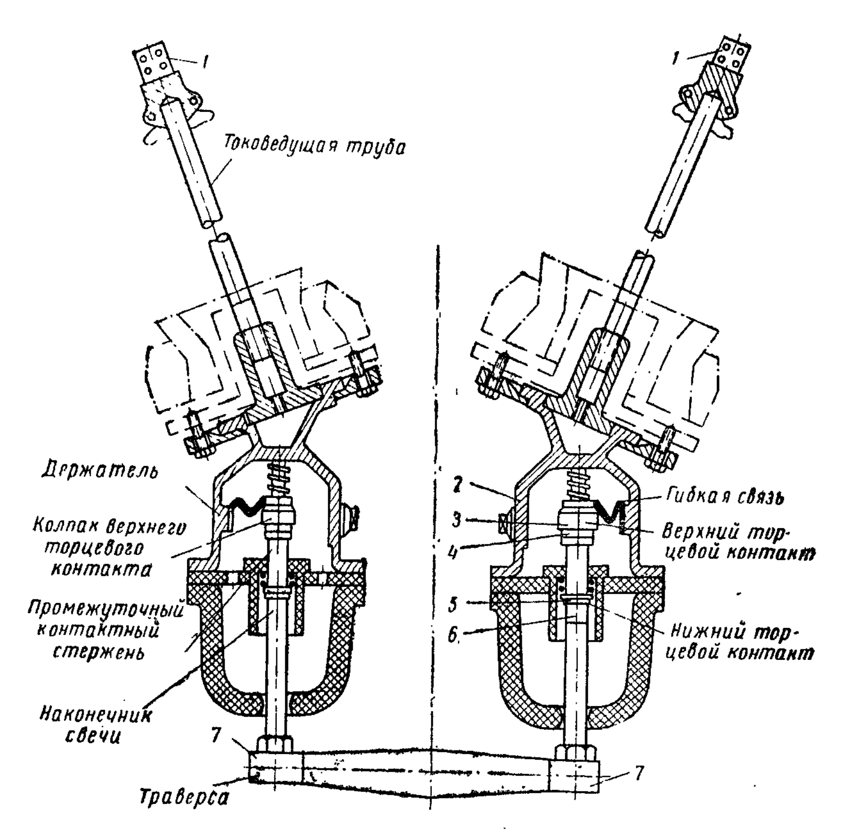


Рис. 244. Схема токоведущей цепи одной фазы выключателей МКП-274 и МКП-160:

1, 2, 3, 4, 5, 6 и *7* — точки, между которыми измеряется переходное сопротивление отдельных контактов фазы

При получении неудовлетворительных результатов измерения общего переходного сопротивления цепи следует произвести измерение отдельных контактов, входящих в контур цепи выключателя, с целью выявления дефектного. При обнаружении последнего производят ремонт подвижных контактов, т. е. подтяжку, опиловку, разборку, замену, зачистку и регулировку.

При пусконаладочных испытаниях измерение величин переходного сопротивления отдельных контактов и всего контура

токоведущей цепи выключателя должно производиться у каждого вновь вводимого выключателя.

Таблица 39

Максимально допустимые переходные сопротивления отдельных контактов

Выключатели		Сопротивление (*мком*) между точками						
		1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	6—7	1—1
МКП-274	новый	180	70	80	50	30	60	900
	в эксплуатации	200	90	100	60	40	90	1100
МКП-160	новый	180	70	60	35	25	35	800
	в эксплуатации	200	80	70	40	30	40	900

При осмотре и регулировке выключателей в воздухе происходит окисление поверхности подвижных контактов, что сказывается на увеличении их переходного сопротивления.

Таблица 40

Предельные значения переходного сопротивления контактов всей фазы масляного выключателя

Тип выключателя	Номинальное напряжение, *кв*	Номинальный ток, *а*	Переходное сопротивление всей фазы, *мком*
МКП-274	220	600	1100
МКП-153	110	600	800
ВМ-125	110	600	500
МКП-110	110	600	1800
МКП-35	35	1000	300
ВМ-35, ВДМ-35, МКП-76	35	600	800
Всех типов, кроме МГГ	3—10	2000 и выше	75
	3—10	1000	100
	3—10	600	150
	3—10	200	350
МГГ (главные контакты)	3—10	2000	60
МГГ (дугогасящие контакты)	3—10	2000	250
ВМГ-133	6—10	1000	100
ВМГ-133	6—10	600	150

После нескольких операций включения и отключения собранных и залитых маслом выключателей происходит самоочистка контактных поверхностей и снижение общего переход-

ного сопротивления цепи выключателя. Такая самоочистка является нормальной и должна учитываться при вводе в эксплуатацию выключателей после их ремонта.

Контроль контактов выключателей может производиться также путем измерения усилий в килограммах нажатия пружин на рабочие контакты и хода подвижного контакта в миллиметрах. Например, для контроля внутренних контактов выключателей ВМГ-133 может быть рекомендован метод измерения усилий нажатия контактных пружин на выдергивание свечи, предварительно отсоединенной от ребристого изолятора. Нормальные усилия на выдергивание свечи по заводским данным должны находиться в пределах 10—15 *кг*.

Поверхность соприкосновения контактов проверяется щупами (рис. 81), она должна быть не менее 70% общей площади контактов. Измеренная разновременность замыкания и размыкания контактов в пределах фазы не должна превосходить 0,5—3% хода траверсы выключателя.

Для каждого типа выключателя заводом-изготовителем устанавливается определенное значение скорости движения контактов. Отклонение указанной скорости от номинального значения может повлечь изменение разрывной мощности выключателя и вызвать его ненормальную работу. При испытаниях измеряется почти всегда зависимость пройденного движения частями выключателя пути от времени. Зная эту зависимость, можно найти скорость движения в любой точке пути. Измерение скорости указанным методом может производиться шлейфовым осциллографом, кинографом, фотоаппаратом, перед обективом которого вращается диск с прорезями или колеблется пластина вибратора, прибором с синхронным электродвигателем, электрическим секундомером или электромагнитным вибратором.

В условиях монтажа и наладочных работ, когда в этом возникает необходимость, измерение скорости движения контактов проще всего производить электромагнитным вибратором переменного тока. С помощью вибратора снимается виброграмма, по которой определяются механические характеристики: скорости работы механизма выключателя.

Вибратор переменного тока (рис. 245) имеет сердечник *1*, собранный из трансформаторной стали, на который надета катушка *2*, получающая питание от однофазного трансформатора ОСВ-01 или ТПБ-100 напряжением на низшей стороне 12 или 24 *в*. Сердечник с катушкой заключены в металлический корпус *3*, к которому крепится стальная пластина *4* с якорем *5* и пишущим устройством *6*. В корпусе вибратора находится выключатель *7*. При включении вибратора в сеть напряжением 220 или 380 *в* стальная пластина колеблется с частотой 50 *гц*, т. е. совершает 100 колебаний в секунду. Принципиальная схе-

ма включения вибратора переменного тока приведена на рис. 246.

Для получения достаточной амплитуды колебаний пластинку следует настроить в резонанс на частоту сети за счет изме-

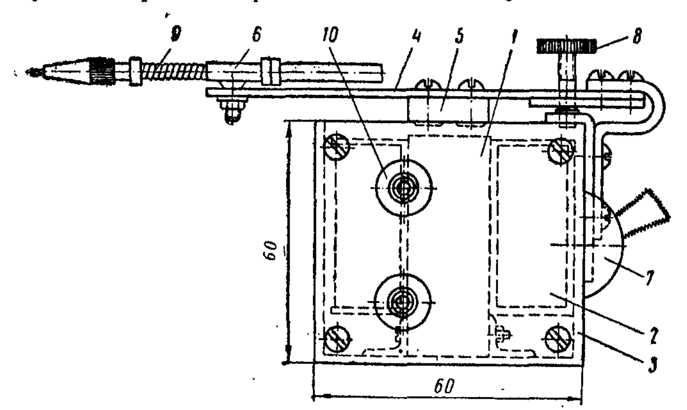


Рис. 245. Вибратор переменного тока:
1 — сердечник, 2 — катушка, 3 — корпус, 4 — пластина, 5 — якорь, 6 — пишущее устройство, 7 — выключатель, 8 — винт регулировки резонанса, 9 — пружина, 10 — зажимы

нения ее длины винтом *8* (рис. 245), прижимающим пластинку к сердечнику. Рекомендуемая величина амплитуды составляет 10—15 *мм*.

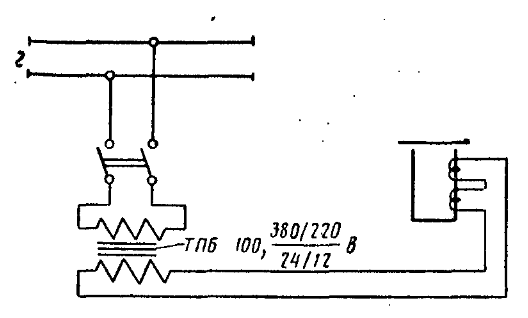


Рис. 246. Принципиальная схема включения вибратора переменного тока

Пишущее устройство состоит из держателя для графита или латунного стерженька, прижимающегося к бумажной ленте с помощью пружины *9*. Устройство для записи скорости работы механизмов выключателя показано на рис. 247. В этом устройстве бумажная лента, на которой производится запись виброграмм, крепится к диску, укрепленному на валу выклю-

чателя к штанге или какой-либо другой подвижной детали механизма выключателей.

Если между упором вибратора и графитом вставить бумажную ленту, прикрепленную, например, к траверсе отключенного выключателя, включить вибратор, а также выключатель, то на ленте получится изображение синусоиды. Длина периодов синусоиды при этом будет зависеть от скорости передвижения траверсы и прикрепленной к ней ленты. Чем быстрее будет передвигаться лента на данном участке пути, тем мень-

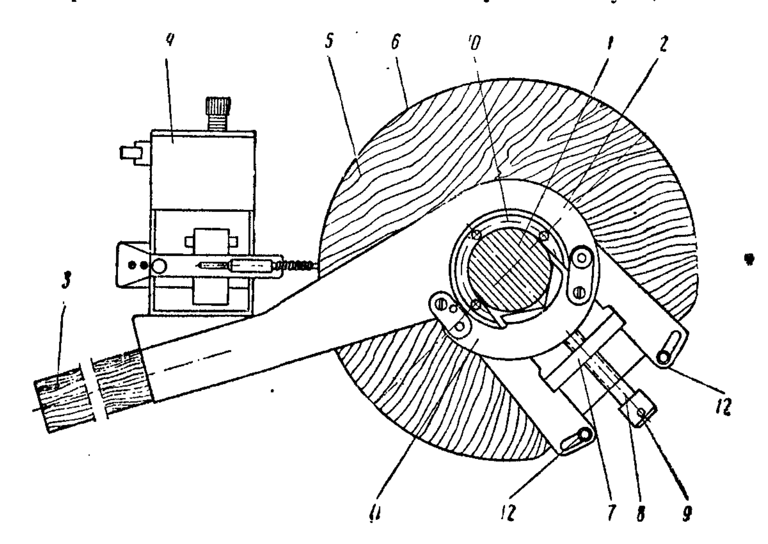


Рис. 247. Устройство для записи скорости работы механизмов выключателя:

1 — вал выключателя, 2 — вилка, 3 — рукоятка, 4 — вибратор, 5 — диск, 6 — бумажная лента, 7 — планка, 8 — стопорный винт, 9 — штифт, 10 — подшипник вилки, 11 — замок, 12 — зажимы для ленты

ше будет записано на этом участке карандашом вибратора «периодов» (длины хода) синусоид.

Анализ работы механизмов выключателей производится посредством построения кривых скорости, для чего путь, который проходит траверса с контактами, делят на произвольное число участков и для каждого из них определяют среднюю скорость движения по формуле

$$v = \frac{S}{t},$$

где v — скорость движения контактов, *м/сек;*

S — длина участка пути, пройденного контактом, *м*;

t — время движения контакта на том же участке по виброграмме, *сек.*

По приведенной формуле можно также определить максимальную скорость, скорость в момент размыкания контактов, в момент гашения дуги и т. п. Наибольшее значение имеет скорость движения траверсы выключателей, соответствующая моменту замыкания или размыкания контактов, а также их выходу из дугогасительной камеры.

В качестве примера, на рис. 248 изображена виброграмма, снятая при включении масляного выключателя. Скорость траверсы на различных участках пути была неодинакова. Для определения скорости измеряют путь и время, за которое он пройден; при этом находят среднее значение скорости для всего пути.

Кроме того, необходимо также определить скорость траверсы в моменты, соответствующие сближению и соприкосновению контактов или их расхождению. Для того чтобы найти переменное значение скорости движения траверсы, диаграмму де-

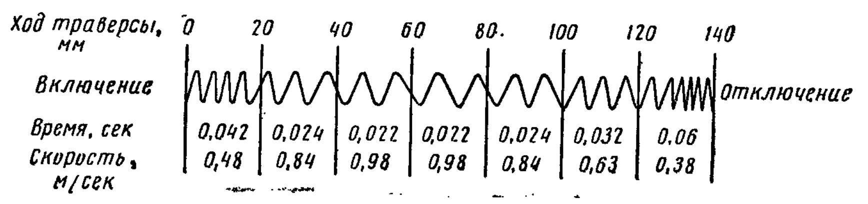


Рис. 248. Виброграмма включения масляного выключателя

лят на несколько участков (рис. 248). Поскольку бумажная лента для данного типа выключателя была закреплена непосредственно на траверсе, то длина всей виброграммы соответствует длине пути подвижных контактов и составляет 140 *мм*.

В данном примере весь путь траверсы разделен на семь равных участков по 20 *мм*.

Время движения траверсы определяют по числу колебаний (периодов), записанных вибратором, из расчета, что период равен 0,01 *сек*. Так, например, на участке *120—140* записано шесть периодов, что составляет время 0,06 *сек*. Аналогично подсчитывают время на других участках.

После определения времени подсчитывают средние скорости на каждом участке путем деления длины (в *м*) на время (в *сек*). Например, на участке *80—100* путь равен 0,02 *м*, время — 0,024 *сек*; 0,02 : 0,024 = 0,84 *м/сек*, т. е. средняя скорость на этом участке равна 0,84 *м/сек*.

Характер изменения скорости траверсы окончательно определяется путем построения графика зависимости от пройденного пути, т. е. $v = f(S)$.

Для упрощения обработки виброграмм при последующих наладочных работах исправность работы механизмов выключа-

телей определяется без построения кривых скорости, путем сравнения времени движения траверсы на заданных участках с данными, приводимыми в таблицах или кривых. Обработка виброграммы позволяет выявить дефекты в механической части выключателей: ослабление пружин, затирание механизмов, перекосы вала и тяг, которые могут приводить к отказу в отключении или снижению отключаемой мощности выключателем.

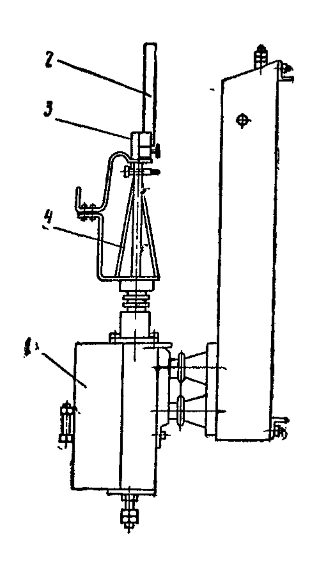


Рис. 249. Установка вибратора на выключателе ВМГ:

1 — выключатель ВМГ, 2 — рейка с бумагой, 3 — вибратор, 4 — приспособление-подставка

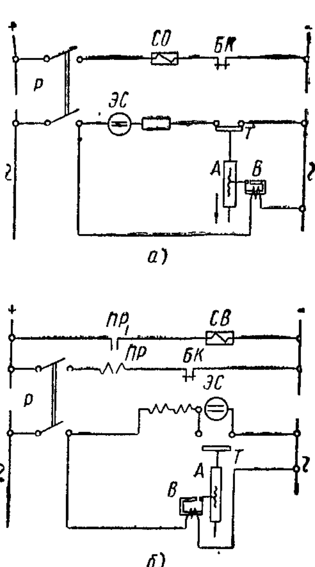


Рис. 250. Схема электрических соединений при измерении скорости и собственного времени выключателя:

а — при отключении, б — при включении; А — планка с бумагой для виброграммы, В — электромагнитный виброграф, Т — траверса выключателя, ЭС — электрический секундомер, СО — соленоид отключения, БК — блокировочные контакты выключателя, Р — рубильник, ПР — промежуточное реле, СВ — соленоид включения

Полученные при испытаниях данные сравнивают с заводскими. Скорости при отключении в момент размыкания контактов должны быть не ниже указанных в инструкции по эксплуатации данного типа выключателя и не должны отличаться от установленных заводом или исходных данных более чем на 15—20% на протяжении всего процесса отключения. Скорости при включении (в момент касания контактов) должны быть не

менее скоростей, получаемых при включении выключателя вручную. Значительные расхождения указывают на наличие неисправностей в приводе или выключателе. У выключателей серии ВМ, не имеющих подвижной траверсы, снятие виброграмм несколько усложняется, так как бумажную ленту приходится связывать с валом выключателя при помощи дополнительных приспособлений к вибратору.

На рис. 249 показана установка вибратора на выключателях серии ВМГ. Для ясности не показаны рычаг привода и изолятор тяги. Для снятия виброграммы лента прикрепляется к подвижным контактам выключателя. На рис. 250 показана схема электрических соединений при измерении скорости и собственного времени выключателя.

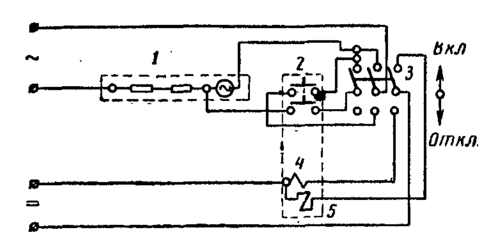


Рис. 251. Измерение времени включения и отключения выключателя с помощью электросекундомера:

1 — электрический секундомер, *2* — блок-контакты, *3* — рубильник, *4* — катушка отключения выключателя, *5* — контактор включающего электромагнита

При проверке полного и собственного времени выключателя измеренные значения не должны отличаться от установленных заводом или исходных данных более чем на ±20%.

Весьма важным фактором, влияющим на селективность (избирательность) действия релейных защит, работу автоматических устройств, устойчивость электрических сетей, является собственное время отключения и включения выключателей после подачи импульса на их приводы.

Измерение времени включения и отключения выключателей может производиться при помощи электросекундомера (рис. 251). Электросекундомер записывает время от начала движения контактов до их замыкания или размыкания. Измерение времени следует произвести три раза на отключение и включение и среднюю арифметическую величину внести в протокол. Расхождение с заводскими данными не должно быть более чем на 15—20%.

Существуют более совершенные и точные способы измерения времени включения и отключения выключателя, например

способ осциллографирования. Известно, что средняя скорость контактов за весь путь движения не может служить достаточной характеристикой, так как скорость в процессе отключения и включения непрерывно изменяется, и в этом случае необходимо знать ее значение в отдельные моменты движения контактов, а также полную характеристику скорости, т. е. кривую скорости за все время работы выключателя.

Полную характеристику скорости движения контактов выключателя можио получить способом осциллографирования. Этим способом одновременно со скоростью можно определить также время действия электромагнитов, собственное время выключателя, моменты подачи импульсов, величиину тока в катушках и другие величины. Схема электрических соединений при осциллографировании приведена иа рис. 252.

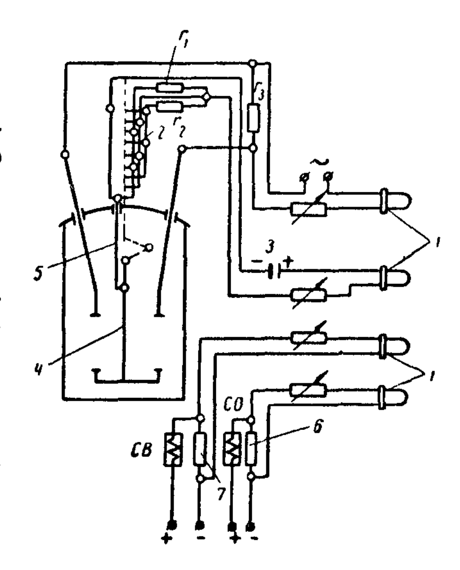


Рис. 252. Схема электрических соединений при осциллографировании скоростей включения и отключения выключателей:

1 — вибраторы магнитоэлектрического осциллографа, 2 — регистратор хода, 3 — батарея 1—3 *в*, 4 — штанга с траверсой, 5 — стальной стержень (временно устанавливаемый), 6 — шунт в цепи электромагнита отключения, 7 — шунт в цепи электромагнита включения (в некоторых случаях могут быть использованы сопротивления из блока добавочных сопротивлений осциллографа); r_1, r_2 — сопротивления в цепи регистратора хода, r_3 — сопротивление в цепи главных контактов

Для измерений удобнее всего применять осциллограф с автоматическим запуском, позволяющим посылать и фиксировать импульс иа отключение (включение) спустя 1—2 полупериода после запуска осциллографа. Это дает возможность фиксировать моменты поступления импульса в катушку отключения (включения). Для фиксации момента размыкания (замыкания) контактов, а также для отсчета времени в характерные моменты через выключатель пропускается вспомогательный переменный ток (220 *в*, 50 *гц*).

Скорость при отключении (включении) на каждом рассматриваемом участке, а также положение контактов (траверсы) в каждый момент времени определяются при помощи специального приспособления — регистратора хода. Регистратор хода (рис. 253) представляет собой текстолитовую рейку, в которую вмонтированы через каждые 3—4 *мм* латунные контакты. По рейке перемещается ползунок с пружинящими контактами.

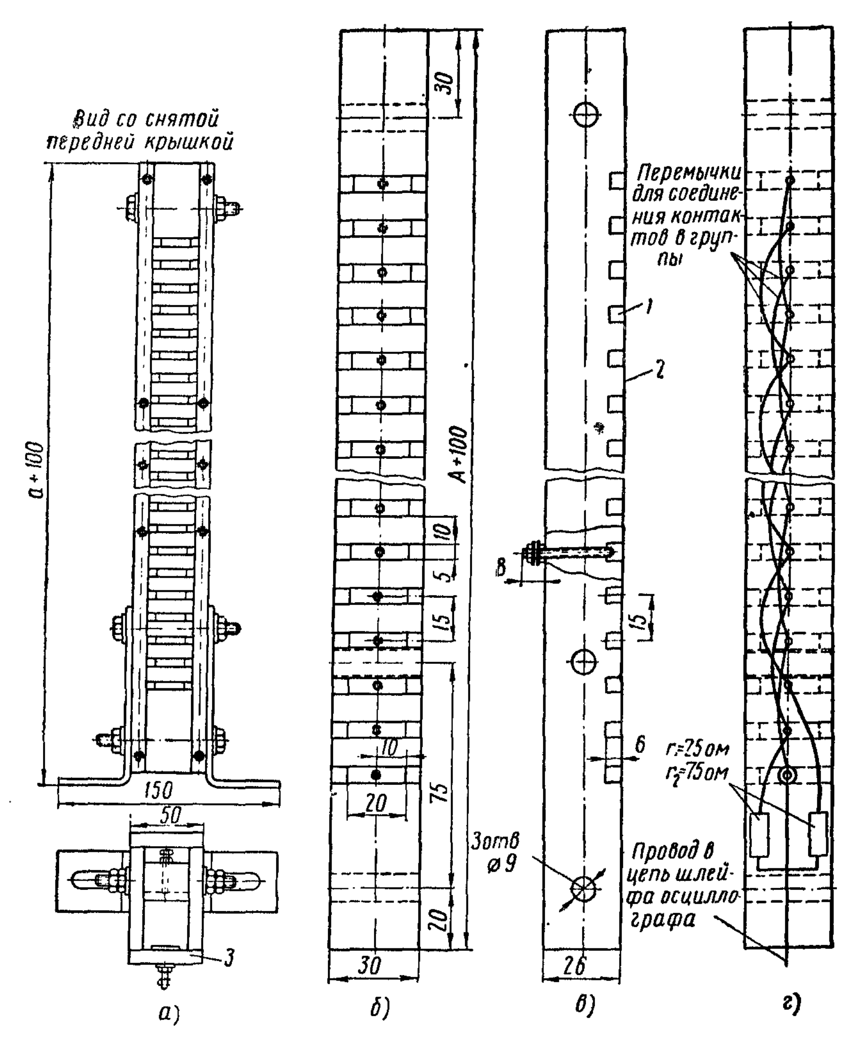


Рис. 253. Регистратор хода траверсы:

а — общий вид, *б* — контактная рейка регистратора (вид спереди), *в* — то же, вид сбоку, *г* — то же (вид сзади); *1* — контактные ламели, *2* — изоляция (текстолит), *3* — контактная планка; *А* — ход траверсы

Рейка и ползунок собраны в текстолитовом коробе. К ползунку прикреплен длинный стержень, который после установки регистратора на выключателе соединяется с траверсой (или штангой выключателя). Латунные контакты рейки можно соединять в группы через разные сопротивления. Это позволяет, пропуская через регистратор постоянный ток (3—6 *в*), получать при движении ползунка на рейке токи разных величин.

В результате на осциллограмме получается ряд ступенчатых штрихов, расстояния между которыми определяются расстоянием между контактами коммутатора, а зная скорость движения осциллографной бумаги или пленки по масштабным отметкам на осциллограмме, можно определить скорость движения контактов выключателя на любом участке пути и построить кривые скорости.

На рис. 254 приведена осциллограмма включения выключателя, на которой произведена запись скорости движения контактов выключателя в момент испытания его на отключающую способность.

Как видно из осциллограммы, чем более скорость движения контактов выключателя, тем меньшие расстояния между отдельными штрихами, образующимися при перемещении щетки по контактам специального коммутатора. Измерение скоростей включения производится только для выключателей с автоматическим включением и отключения — для всех выключателей.

Эти измерения являются необязательными для выключателей напряжением ниже 35 *кв*. На заключительном этапе испытаний масляные выключатели испытываются

Рис. 254. Осциллограмма включения выключателя:

а — поступление импульса тока в электромагнит включения, *б* — начало движения траверсы, *в* — момент замыкания контактов, *г* — крайнее верхнее положение контактов, *v* — скорость движения траверсы. Участки: *S* — полный ход траверсы, $S_к$ — ход в контактах, $S_с$ — свободный ход контактов («перелет»). Кривые: *1* — регистратор хода, *2* — ток в катушке включения, *3* — вспомогательный переменный ток (50 *гц*), *4* — отметчик времени

многократными включениями и отключениями при номинальном пониженном и повышенном напряжениях. Количество отключений и включений устанавливается согласно табл. 41.

Таблица 41

Количество операций при испытании масляного выключателя многократными включениями и отключениями

Операция	Напряжение на шинах оперативного тока в % номинального	Количество операций		
		после монтажа	при капитальном ремонте	при текущем ремонте
Включение	115	5	2—3	—
Включенне	90	5	2—3	—
Отключение	80	10	5	1
Включение и отключение	100	3—4	2—3	2—3

Воздушные выключатели. Испытания воздушных выключателей в некоторой части отличаются от масляных выключателей.

При приемо-сдаточных испытаниях измерение переходного сопротивления контактов производится по частям (контакты каждой камеры, ножи и т. п.). Переходное сопротивление каждой гасительной камеры выключателя не должно превышать 100—150 *мком*, сопротивление контактов ножа разъединителя — 200 *мком*, а общее сопротивление всей фазы — суммы сопротивлений, нормированных для отдельных механизмов фазы.

Для выключателей ВВ-220 и ВВН-220 общее переходное сопротивление контактов не должно превышать 400 *мком*, камеры — 250 *мком* и ножа — 150 *мком*.

Основные методы измерения переходного сопротивления те же, что и для масляных выключателей.

В том случае, если повышение переходного сопротивления контактов при измерении будет более чем в два раза по сравнению со значениями, полученными при предыдущих испытаниях, то такие контакты бракуются.

Измерение сопротивления изоляции опорных колонок воздушных выключателей производится одновременно для верхнего и нижнего изоляторов мегомметром МС-05 и МС-2, напряжением 2500 *в*, со шкалой не менее чем на 10 000 *Мом*. По нормам сопротивление изоляции опорных колонок не должно быть ниже 5000 *Мом*.

Испытание повышенным напряжением переменного тока бакелитовых цилиндров гасительных камер воздушных выключателей производится для каждой половины цилиндра напряжением 110 *кв* по схеме, приведенной на рис. 209.

Измерение времени открытия главных контактов и определение промежутка времени между их открытием и моментом размыкания ножа разъединителя, а также определение одновременности открытия контактов производятся способом осциллографирования или миллисекундомером. Одновременность открытия контактов производится в пределах фазы и в редких случаях по фазам. Измерение времени для воздушных выключателей способом осциллографирования производится точно так же, как и для масляных выключателей.

На заключительном этапе испытаний воздушные выключатели испытываются многократными включениями и отключениями при номинальном, пониженном и повышенном напряжениях. Количество отключений и включений устанавливается согласно табл. 42.

Таблица 42

Количество операций при опробовании воздушного выключателя многократными включениями и отключениями

Операции	Напряжение на шинах оперативного тока в % от номинального	Давление оперативного воздуха	Количество операций		
			после монтажа	при капитальном ремонте	при текущем ремонте
Включение и отключение	80	Номинальное	5	3	2
	115		5	3	2
	100		30—40	18—28	7—12
	100	Минимальное, установленное заводом-изготовителем	5	3	2
	100	Максимальное, установленное заводом-изготовителем	3	3	2

Вспомогательное пневматическое хозяйство воздушных выключателей представляет собой сложный комплекс. Сюда относятся компрессоры, являющиеся источником сжатого воздуха для выключателей и их приводов, схема автоматического управления компрессорами, распределительные шкафы и измерительные приборы (манометры и др.), воздуховоды с запорной арматурой, ресиверы и т. д. Указанное вспомогательное хозяйство должно постоянно находиться в удовлетворительном техническом состоянии.

Для производства испытаний воздушных выключателей отделом автоматики, телемеханики и пусконаладочных работ ин-

ститута «Гидроэнергопроект» разработано универсальное переносное устройство, состоящее из двух различных взаимосвязанных схем: а) схемы управления воздушным выключателем, позволяющей воспроизводить различные циклы работы выключателей; б) схемы для снятия временных характеристик выключателя с помощью электрического секундомера ПВ-52 или осциллографа МПО-2 (рис. 12 и 65).

Все элементы схемы и коммутационная аппаратура смонтированы в металлическом чемодане размером 542×404×250 *мм*

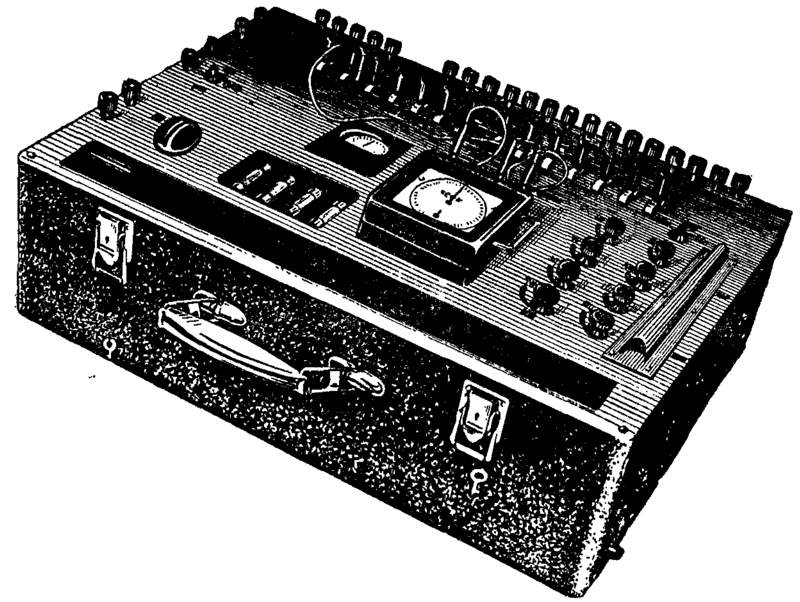


Рис. 255. Внешний вид универсального переносного устройства для испытаний воздушных выключателей

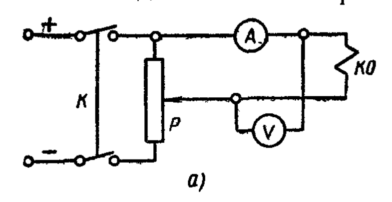
со съемной крышкой. Вес устройства около 25 *кг*. Схема автоматики управления выключателей питается от источника постоянного тока напряжением 110 и 220 *в*. Питание электрического секундомера осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 *в*. Аппаратура, которая в процессе производства работ может потребовать замены (предохранители) или регулировки (реле времени), расположена в доступных местах чемодана (для этого имеются съемные крышки). Комплектно с устройством имеются специальные провода с наконечниками типа «Крокодил» для соединения устройства с элементами воздушного выключателя. Внешний вид такого устройства показан на рис. 255.

§ 2. НАЛАДКА ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ И ПРИВОДОВ К НИМ

Зная основные методы испытаний, можно приступить к наладке выключателей и приводов.

Четкая и безотказная работа привода имеет в электроустановках весьма важное значение, так как отказ в его работе может привести к тяжелым последствиям из-за несвоевременного отключения при авариях или из-за невозможности его включения в необходимый момент.

До включения в работу монтажниками должна быть произведена чистка и механическая регулировка привода, а также катушек включения и отключения. Повышенное (ненормальное) напряжение срабатывания катушки отключения в большинстве случаев является следствием загрязнения или неправильной регулировки механизма свободного расцепления самого привода.



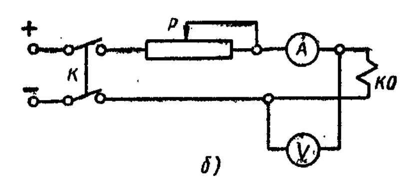


Рис. 256. Проверка отключающих катушек и промежуточных реле включения выключателей:

а — с потенциометром, *б* — с реостатом; *КО* — испытуемая отключающая катушка (или промежуточное реле включения), *Р* — реостат или потенциометр, *К* — рубильник двухполюсный

При внешнем осмотре обращается особое внимание на качество монтажа, отсутствие грязи и пыли, качество уплотнений всех отверстий, надежность затяжки всех винтов и целость резьбы, а также на качество разборки и чистки катушек включения и отключения. Измеряются напряжение и ток срабатывания, сопротивление, и при наладке ток потребления катушек включения и отключения.

Полученные данные сравниваются с заводскими; работа катушек проверяется как на месте, так и дистанционно со щита управления. Проверка непосредственно у привода производится по схемам, показанным на рис. 256. Схема с потенциометром, изображенная на рис. 256, *а*, более удобна, а схема с реостатом, показанная на рис. 256, *б*, применяется при отсутствии потенциометра достаточной мощности. Подбирая потенциометром напряжение, определяют напряжение и ток срабатывания при подаче напряжения толчком. Катушки отключения должны отключать выключатель при подведении к ним толчком напряжения, равного 65% номинального. Катушка включения должна работать при 80% номинального напряжения. Эта проверка определяет исправность самой катушки и механической передачи

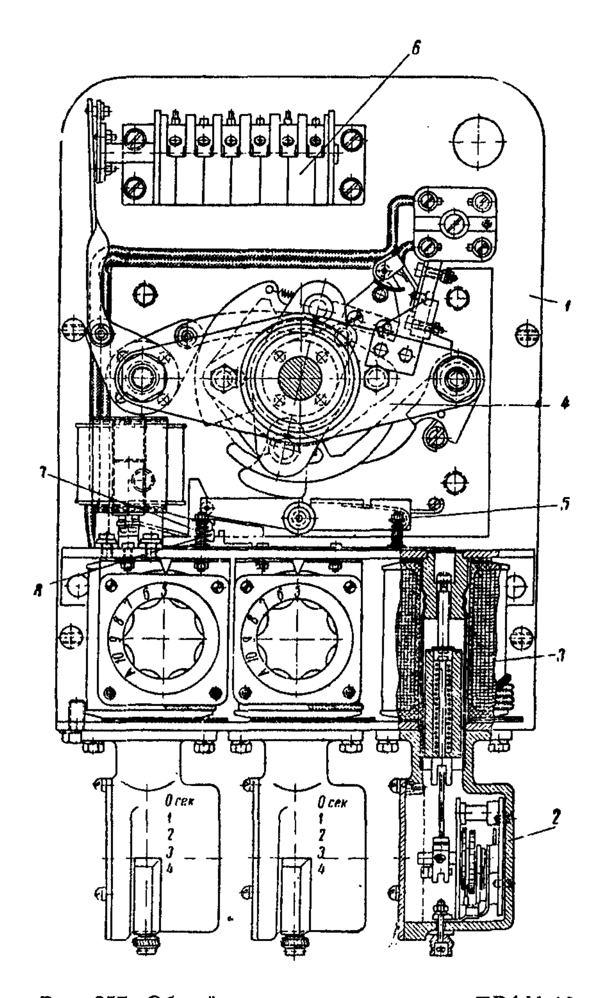


Рис. 257. Общий вид ручного привода ПРАМ-10:

1 — основание, *2* — реле максимального тока, *3* — катушка реле, *4* — механизм свободного расцепления, *5* — механизм ударного устройства, *6* — блок-контакты, *7* — пружина, *8* — собачка

от нее к выключателю. После проверки напряжения и тока срабатывания напряжение доводится до номинального, измеряется ток, потребляемый катушкой, и результаты сравниваются с заводскими данными.

У выключателей с дистанционным управлением необходимо проверить работу блокировки от «прыгания». Для этого включают выключатель от ключа управления и, не отпуская рукоятки, замыкают цепь отключения. Выключатель должен один раз отключиться и оставаться отключенным все время, пока замкнуты цепи отключения и включения. В современных схемах управления и сигнализации к цепям отключения и включения выключателя, кроме выходных реле защиты, обычно присоединяются различные вспомогательные реле для контроля цепей и сигнализации. Эти реле могут создать добавочную цепь питания катушек отключения и включения от шин сигнализации и вызвать залипание выходного промежуточного реле. Это можно устранить изменением схем, подбором сопротивлений и прочими способами, в зависимости от местных условий.

Катушка отключения выключателей с ручным приводом (КАМ, ПРАМ, ПРА и т. д.) и катушки включения грузовых и пружинных приводов проверяются так же, как катушки отключения и промежуточные реле включения дистанционных приводов. Отключающая катушка отдельно не проверяется, так как сама катушка является обмоткой реле и проверяется как реле.

Для приводов с отключающими катушками, работающими через насыщающийся трансформатор (ТКБ) от трансформаторов тока, ток срабатывания измеряется на первичной стороне трансформатора ТКБ и должен быть не более 3,5÷4 *а*.

Для общего представления о приводах к высоковольтным выключателям ниже показываются наиболее часто употребляемые приводы, применяемые в электроустановках: ручной привод ПРАМ-10 для масляных включателей внутренней установки ВМБ-10 (рис. 257); универсальный грузовой привод УГП-51 для масляных выключателей 6—35 *кв* (рис. 258); электромагнитный привод постоянного тока ПС-30 для мощных масляных выключателей горшкового типа МГГ-229 и МГГ-529, на 4000 и 5000 *а* напряжением 6 и 10 *кв* (рис. 259); электромагнитный привод ПЭ-2 для выключателей МГГ-10 (рис. 260).

В последние годы широко применяются грузовые приводы ПГ-10 и моторно-грузовые ПГМ-10. Включение осуществляется за счет энергии падающего груза. Привод ПГ-10 может иметь возврат в исходное положение либо ручной при помощи штурвала, либо дистанционный при помощи электромагнита. У привода ПГМ-10 эти операции осуществляются при помощи специального двигателя. Достоинство таких приводов заключается в том, что для их обслуживания требуется источник оперативного переменного или постоянного тока небольшой мощности.

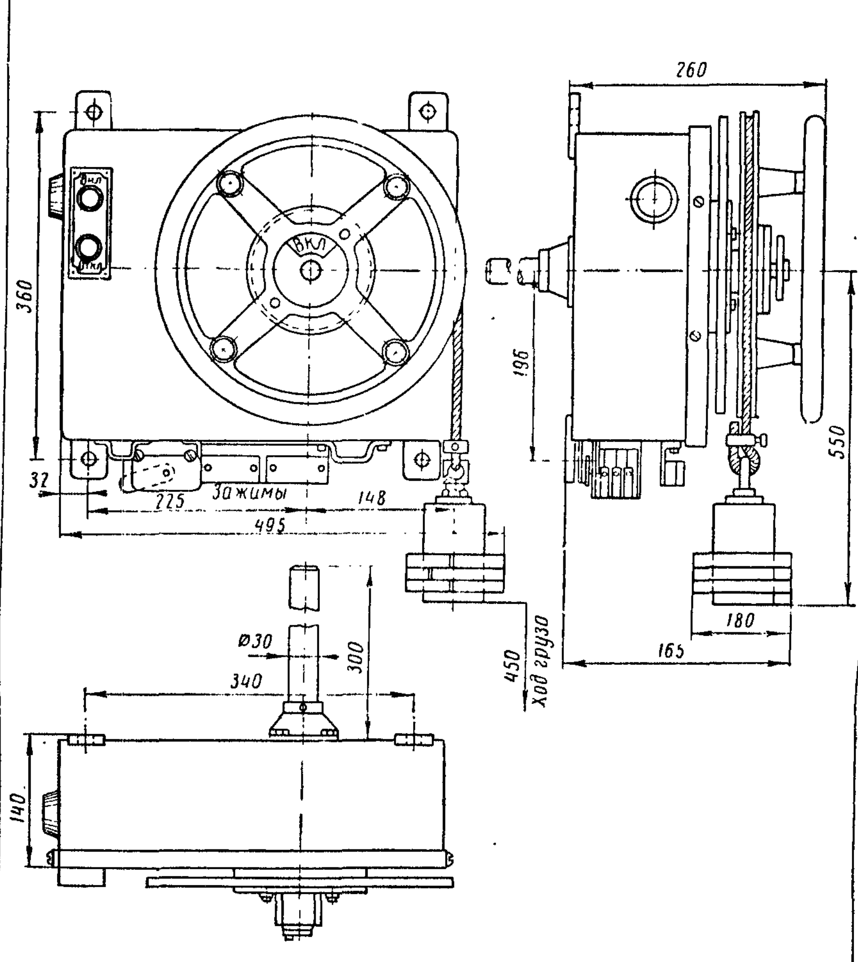


Рис. 258. Внешний вид и габаритные размеры грузового привода УГП-51

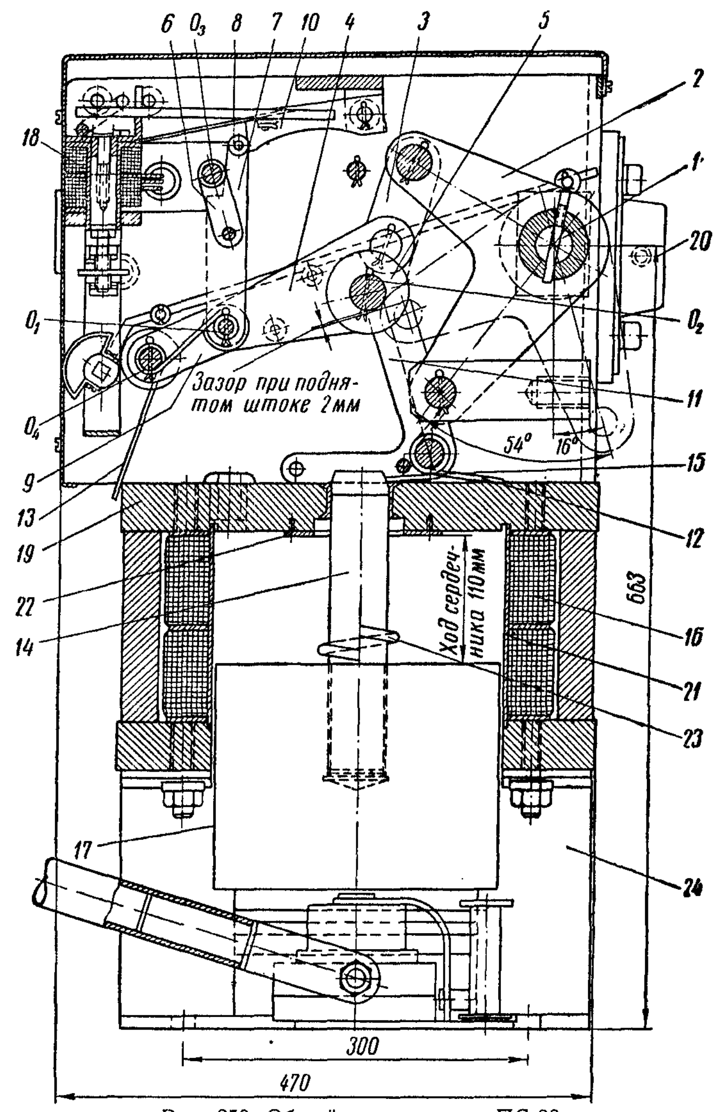


Рис. 259. Общий вид привода ПС-30:

1 — главный вал, *2* — включающий рычаг, *3, 6, 9* — серьга, *4* — рычаг, *5* — ролик, *7* — рычаг, *8* — ролик рычага, *10* — запорная планка, *11* — удерживающая защелка, *12* — пружина защелки, *13* — пружина, *14* — шток, *15* — боек штока, *16* — обмотка включающего электромагнита, *17* — сердечник, *18* — обмотка отключающего электромагнита, *19* — плита, *20* — чугунный фланец, *21* — тонкостенная гильза, *22* — латунная шайба, *23* — одновитковая пружина, *24* — лапы основания; O_1 — временно неподвижный центр, O_2, O_3 и O_4 — оси механизма

Более совершенной конструкцией является пружинный ППМ-10, в котором предусмотрено дополнительное автоматическое устройство для подъема груза после каждого срабатывания привода на включение выключателя (рис. 261). Это устройство состоит из электродвигателя постоянного или переменного тока мощностью 50—100 *вт*, червячного редуктора, зубчатых шестерен и конечного выключателя. После включения привода специальный ролик на шкиве замыкает конечный выключатель, включающий электродвигатель. Электродвигатель при помощи редуктора и шестерен поворачивает штурвал и поднимает груз.

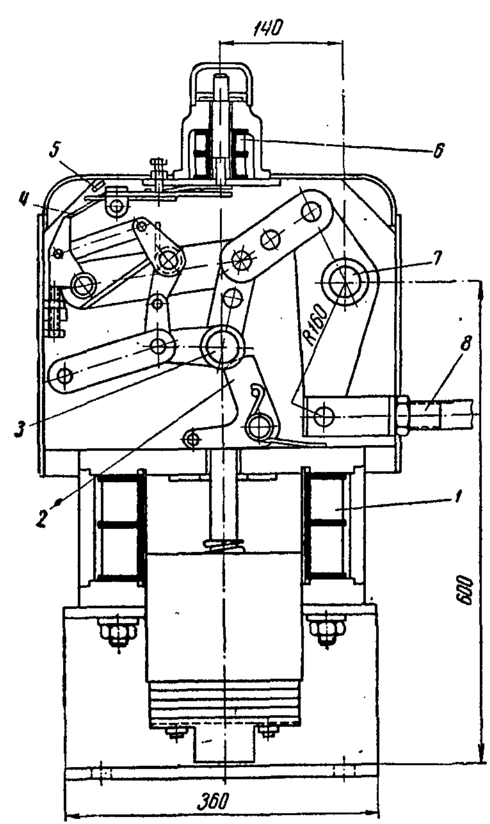


Рис. 260. Привод ПЭ-2 (во включенном положении):

1 — включающий электромагнит, *2* — удерживающая защелка, *3* — ось ролика, *4* — механизм свободного расцепления, *5* — планка для предохранительного болта, *6* — отключающий электромагнит, *7* — вал, *8* — тяга к выключателю

Вблизи крайнего верхнего положения груза конечный выключатель отключается и прерывает питание электродвигателя, но в этот момент привод уже заведен и удерживается защелкой груза, т. е. готов к последующей операции включения. Автоматическая подготовка привода длится не более 6—10 *сек*.

В приводах ППМ-10 можно заводить пружину не только вручную, но и автоматически дистанционно после каждого включения выключателем. У остальных типов механизм пружинных приводов устроен аналогично механизму грузовых приводов. Применяются они главным образом для масляных выключателей ВМГ-133 и в условиях большой частоты операций по включению и отключению, например в электропечных установках.

Ручка *2* (рис. 261) служит для ручного отключения выклю-

чателя, рычажок *3* является указателем положений «включено» и «отключено», штурвал *1* служит для подъема груза. Наладка таких приводов в части электромагнитов включения и отключения не отличается от общепринятых положений; при наладке приводов ПГМ-10 и ППМ-10 необходимо обратить внимание на правильное присоединение двигателя к источнику его питания.

Ниже приводятся некоторые указания по наладке масляных выключателей и приводов.

По актам проверки и монтажа, полученным от монтажников, устанавливают возможность включения выключателя в работу; от руки при помощи рукоятки привода включают выключатель, при этом проверяется свободный ход механизма привода и надежное положение выключателя во включенном состоянии; от руки воздействуют на электромагнит отключения и проверяют отключение выключателя.

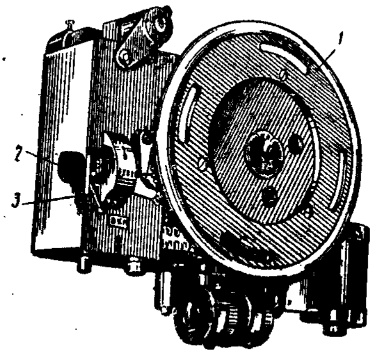


Рис. 261. Пружинный привод ППМ-10 с автоматическим заводом пружины:

1 — штурвал, *2* — ручка для ручного отключения, *3* — указатель положения выключателя

После проверки внутреннего монтажа проводов и состояния блок-контактов (КСА), измеряют сопротивление обмоток электромагнитов включения и отключе-

Таблица 43

Количество операций при испытаниях приводов

Наименование операций	Напряжение на шинах оперативного тока (% от номинального)	Количество операций	
		после монтажа	при капитальном ремонте
Включение	115	5	2—3
Включение	80	5	2—3
Отключение	65	10	5
Включение и отключение	100	3—4	2—3

Примечания. 1. При наличии дистанционного управления количество операций, проводимых при помощи рукоятки (кнопок) управления, должно составлять 40—50% указанного в таблице общего числа операций.

2. При отключении выключателя от реле, установленных в приводе, каждое реле опробуется несколько раз.

3. Если в приводе используется АПВ, то 40—50% операций включений должны производиться при помощи рычага механического пуска АПВ.

ния и проверяют переносным указателем низкого напряжения типа ТИ-2 исправность цепей включения и отключения и их выполнение в соответствии со схемой.

Затем сверяют паспортные данные и тип привода выключателя с проектными данными; измеряют переходное сопротивление контактов выключателя. Подается напряжение оперативного тока и проверяются включение и отключение при номинальном напряжении и пониженном: 65% номинального для цепи отключения и 80% для цепи включения.

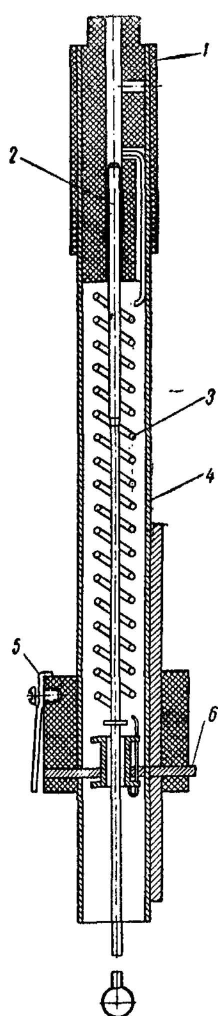


Рис. 262. Устройство для регулирования ручных и пружинно - грузовых приводов масляных выключателей

Выключатель должен безотказно включаться и отключаться. Включение и отключение производятся не менее 5—10 раз (табл. 43). Чтобы не перегревалась обмотка электромагнита включения, необходимо делать паузы после 2—3 включений на 5—10 *мин.*

А. Д. Степановым (ЦЛЭМ) разработано устройство для регулирования ручных и пружинно-грузовых приводов масляных выключателей (рис. 262), которое позволяет проверять и измерять величину усилия (механической работы), необходимого для выбивания защелки у приводов КАМ, УГП, УПГП, ПРБА и т. п. Пользование устройством устраняет необходимость глазомерной оценки качества регулирования механизма привода, которая часто приводит к завышению мощности отключающих катушек и реле прямого действия.

Устройство представляет собой боек *2*, ударяющий по защелке привода. Во взведенном состоянии пружина *3* бойка натянута, а боек удерживается защелкой *6*. Натяжение пружины изменяется при перемещении колодки *5*. Сила удара бойка о защелку определяется натяжением пружины. Необходимая для этого механическая работа измеряется в грамм-сантиметрах. При опытах отключения привода устройство вставляют в одно из релейных гнезд и удерживают рукой. Обойма *1*, которую со значительным трением можно перемещать по корпусу *4* устройства, служит упором, фиксирующим его правильное положение в приводе. Для проверки качества сборки и состояния

механизма привод несколько раз отключают, постепенно увеличивая натяжение пружины до тех пор, пока привод не будет надежно срабатывать. Измеренное значение величины усилия сравнивается с известными из опыта значениями. Примерные значения по шкале устройства составляют:

Привод КАМ, *гсм* 100
Привод УГП „ 200
Привод ПРБА „ 300

Значительное превышение контрольных величин указывает на плохую сборку привода, коррозию или загрязнение деталей привода и т. п.

§ 3. ИСПЫТАНИЕ И НАЛАДКА РАЗЪЕДИНИТЕЛЕЙ

Измерение сопротивления изоляции. При приемно-сдаточных испытаниях разъединителей производится измерение сопротивления изоляции невлагостойких, деревянных и бакелитовых тяг и поводков, при этом минимально допустимые сопротивления изоляции составляют при напряжении 3—10 *кв* 1000 *Мом* и при напряжении выше 10 *кв* 3000 *Мом.*

Испытание разъединителей повышенным напряжением. Величина испытательного напряжения промышленной частоты для опорных одноэлементных изоляторов разъединителей по ГОСТ 1516—60 приведена в табл. 44.

Таблица 44

Величина испытательного напряжения одноэлементных изоляторов разъединителей

Испытательное напряжение, *кв*	Номинальное напряжение, *кв*								
	3	6	10	15	20	35	110	154	220
Для разъединителей наружной установки	27	36	47	63	75	110	295	375	550
Для разъединителей внутренней установки	25	32	42	57	68	100	265	340	490

Продолжительность испытания 1 *мин.* Испытание изоляторов напряжением выше 35 *кв* не обязательно.

Измерение сопротивления контактов разъединителей на постоянном токе производится для разъединителей напряжением 110 *кв* и выше, а также для разъединителей с величиной тока более 1000 *а* всех напряже-

ний. Переходные сопротивления контактов не должны превышать 130% первоначально измеренного и должны составлять: 150—200 *мком* для разъединителей до 600 *а*, 100—150 *мком* — 1000 *а*, 40—60 *мком* — 1500—2000 *а*. Методы измерения переходных сопротивлений контактов те же, что и для включателей.

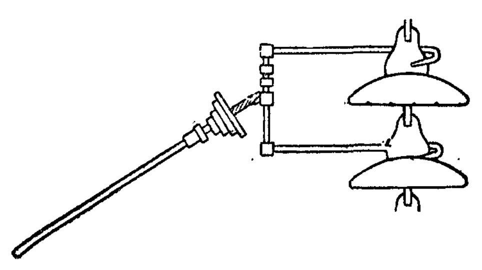


Рис. 263. Схема измерения подвесной изоляции с помощью специальной штанги

Измерение сопротивления изоляции многоэлементных изоляторов производится мегомметром на напряжение 2500 *в*; оно не должно быть ниже 300 *Мом* на каждый элемент штыревого изолятора и гирлянды подвесных изоляторов. Кроме того, для многоэлементных изоляторов обязательно испытание повышенным напряжением 50 *кв* переменного тока на каждый подвесной изолятор. Длительность приложения испытательного напряжения 1 *мин*.

Для определения состояния подвесной и опорной изоляции производят измерения распределения напряжения по изоляции в рабочих условиях с помощью специальной штанги (рис. 263). При повреждении одного из элементов изоляции напряжение на поврежденном элементе уменьшается, а на исправном — соответственно повышается.

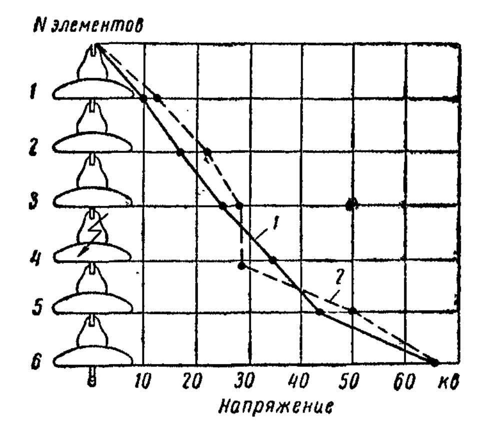


Рис. 264. Кривые распределения напряжения на гирлянде 110 *кв*:

1 — для исправных изоляторов, *2* — при повреждении четвертого изолятора сверху

Представление о характере распределения напряжения по элементам опорных изоляторов и нормы их отбраковки приведены в табл. 45.

На рис. 264 приведены кривые распределения напряжения на гирлянде 110 *кв* для исправных изоляторов (*1*) и для случая повреждения четвертого изолятора (*2*). Изолятор подлежит замене, если величина приходящегося на него напряжения снизилась не менее чем в 1,5—2 раза.

Таблица 45

Распределение напряжения по элементам опорных изоляторов и нормы отбраковки отдельных элементов

Рабочее напряжение, *кв* — линейное	Рабочее напряжение, *кв* — фазное	Число и тип изоляторов	Состояние изоляторов	№ элементов изоляторов, считая от конструкции: 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
				Напряжение, *кв*														
220	127	5ИШД-35	Нормальное	6	7	7	5	6	6	6	7	9	7	8	10	11	12	18
			Дефектное менее . .	3	3	3	2	3	4	3	3	4	3	3	5	6	8	12
110	65	3ШТ-35 или ШТ-30	Нормальное	7	8	9	11	12	18	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			Дефектное менее . .	3	4	5	6	8	11	—	—	—	—	—	—	—	—	—
110	65	4Т-44	Нормальное	5	6	4	8	5	12	8	17	—	—	—	—	—	—	—
			Дефектное менее . .	2	3	2	3	2	8	6	10	—	—	—	—	—	—	—
35	20	ШТ-35 или ШТ-30	Нормальное	10	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			Дефектное менее . .	5	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
35	20	2Т-44	Нормальное	4	5	4	7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			Дефектное менее . .	2	2	2	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечание. Сумма напряжений, измеренных по элементам колонки, не должна отличаться более чем на ±20% от фазного напряжения.

Измерителем напряжения на штанге может быть переносный электростатический вольтметр С96 или С100 класса точности 1,5, или регулируемый переменный воздушный искровой промежуток.

При наличии у разъединителей электрических или пневматических приводов последние проверяются трехкратным включением и отключением при номинальных параметрах напряжения или давления; кроме того, у вышеуказанных приводов определяются соответственно максимальные напряжения или давления срабатывания. Нормы испытаний устанавливаются согласно табл. 46.

Таблица 46

Нормы испытаний электрических и пневматических приводов разъединителей

Операция	Давление оперативного воздуха для пневматических приводов	Напряжение на шинах оперативного тока, % номинального	Количество операций
Включение	Максимальное эксплуатационное, но не менее 105% номинального	100	5
Включение	Максимальное эксплуатационное, но не менее 105% номинального	90	5
Отключение	Не нормируется	90	10

§ 4. ИСПЫТАНИЕ СУХИХ (БЕТОННЫХ) РЕАКТОРОВ

При приемно-сдаточных испытаниях сухих (бетонных) реакторов главная их изоляция должна испытываться в течение 1 *мин* повышенным напряжением промышленной частоты. Величина испытательного напряжения принимается согласно табл. 47.

Таблица 47

Величина испытательного напряжения главной изоляции сухих реакторов

Номинальное напряжение, *кв*	3	6	10	15	20	35
Испытательное напряжение, *кв*	24	32	42	55	66	100

Величина сопротивления изоляции сухих (бетонных) реакторов относительно болтов крепления, колпаков, головок опорных изоляторов при измерении мегомметром на напряжение 2500 *в* должна быть не ниже 1 *Мом* на 1 *кв* номинального напряжения реактора.

Схемы проверки сопротивления изоляции обмоток реактора с помощью мегомметра приведены на рис. 265. В установках до 10 *кв* сопротивление изоляции должно быть не менее 10—15 *Мом.*

Значительное снижение сопротивления изоляции бетонных колонок по сравнению с предыдущими измерениями указывает на наличие в них влаги. Сопротивление изоляции забракованных бетонных колонок (сухих) реакторов может быть восстановлено путем сушки и лакировки в специальных сушильных камерах.

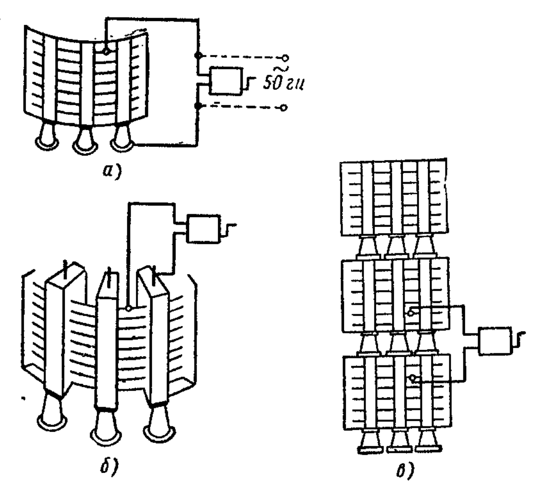


Рис. 265. Схемы проверки сопротивления изоляции обмоток реактора:

а — между обмоткой и землей, *б* — между обмоткой и бетоном, *в* — между обмотками разных фаз

§ 5. ПРОВЕРКА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ

Назначение предохранителей. Предохранители применяются для защиты от перегрузки и коротких замыканий линий, трансформаторов, электродвигателей и другого электрооборудования при условии, что их номинальные напряжение и ток и предельный отключаемый ток соответствуют параметрам сети.

Расстановка предохранителей в схеме должна обеспечивать необходимую чувствительность и селективность их действия и не препятствовать применению автоматики (АПВ, АВР и т. п.).

Предохранители устанавливаются на трех фазах после выключателя нагрузки (или разъединителя) для того, чтобы замену перегоревших вставок можно было производить при снятом напряжении.

Выбор предохранителей. Номинальное напряжение предохранителей и их плавких вставок $U_{вст}$ должно соот-

ветствовать номинальному напряжению сети U_c, в которой они устанавливаются. Установка предохранителей на меньшее номинальное напряжение не допускается, так как для обеспечения гашения дуги, возникающей при перегорании плавкой вставки, ее длина должна быть тем больше, чем выше напряжение и, кроме того, изоляция каждого предохранителя рассчитана на вполне определенное номинальное напряжение, например 0,5; 3; 6; 10 *кв* и т. д. Поэтому предохранитель, например, на 500 *в* нельзя устанавливать в сети 3 *кв* и т. д. Установка предохранителей, выполненных на большее номинальное напряжение, не рекомендуется, так как с увеличением длины плавкой вставки (на тот же номинальный ток) ухудшается ее защитная характеристика. Таким образом, первым условием является:

$$U_{вст.ном} = U_{сети}.$$

Номинальный ток. Плавкая вставка должна выбираться из расчета, чтобы она не перегорала при протекании по ней максимально длительного тока нагрузки $I_{н.макс}$. Для этой цели номинальный ток плавкой вставки должен быть больше $I_{н.макс}$, т. е.

$$I_{вст.ном} = к_н \cdot I_{н.макс},$$

где $к_н$ — коэффициент отстройки от тока нагрузки.

Величина коэффициента $к_н$ обычно для переменной нагрузки принимается 2÷2,5; для легких условий принимается 2,5 при токе плавления плавкой вставки примерно 2÷3 *сек* и для тяжелых условий — 1,5÷2 при токе плавления плавкой вставки примерно 10 *сек.*

Номинальный ток плавкой вставки выбирается по вышеуказанным условиям и принимается ближайшим большим по шкале стандартных номинальных токов.

Селективность (избирательность). Одним из основных условий выбора предохранителей является обеспечение селективности их действия между собой и с релейной защитой.

Для получения селективного действия последовательно установленных однотипных низковольтных вставок необходимо, чтобы их номинальные токи различались на две ступени шкалы, а для высоковольтных вставок ПК на одну ступень шкалы. Проверка селективности предохранителей, установленных с высокой и низкой сторон трансформаторов, проводится на основе сопоставления сечений плавких вставок с учетом материала, из которого они сделаны. При этом сечение предохранителя на высокой стороне трансформатора необходимо привести

в соответствии с предохранителем на низкой стороне трансформатора путем умножения на коэффициент трансформации силового трансформатора $K_т$.

С учетом этого условия отношение сечений приобретает вид:

$$a = \frac{S_1}{S_2} K_т,$$

где S_1 — сечение плавкой вставки на высокой стороне трансформатора;

S_2 — сечение плавкой вставки на низкой стороне трансформатора.

Для иллюстрации приводятся табл. 48 и 49 по выбору плавких вставок и предохранителей для понизительных трехфазных трансформаторов, а также время и значения испытательного тока предохранителей.

Таблица **48**

Выбор плавких вставок и предохранителей для понизительных трехфазных трансформаторов

Мощность трансформаторов, *ква*	Номинальный ток плавкой вставки или предохранителя, *а*							
	при напряжении на стороне низшего напряжения, *в*				при напряжении на стороне высшего напряжения, *в*			
	127	220	380	500	2100	3150	6300	10500
5	25	15	10	—	5	3	2	—
10	50	25	15	—	7,5	5	3	2
20	100	50	30	25	15	10	5	3
30	150	80	50	30	20	15	7,5	5
50	250	125	80	50	30	20	10	7,5
75	350	200	125	80	40	30	15	10
100	500	250	150	125	50	40	20	15
135	2×350	350	200	150	50	50	30	15
180	3×300	500	300	200	75	75	40	20
240	2×500	2×350	400	300	100	75	40	30
320	3×500	3×300	500	350	—	100	50	40

Защитная характеристика плавкой вставки (рис. 266) определяется зависимостью $t=f(K_{исп})$, где t — время плавления (перегорания) вставки, *сек*; $I_{вст}$ — ток, протекающий через вставку; $I_{вст.ном}$ — номинальный ток вставки; $K_{исп}=\frac{I_{вст}}{I_{вст.ном}}$ — кратность тока, протекающего через вставку, по отношению к ее номинальному току.

Таблица 49

Время и значение испытательного тока * предохранителей

Вид предохранителя	Номинальный ток плавкой вставки, *а*	Длительность приложения испытательного тока, *час*	Величина испытательного тока, *а*	
			нижнее значение	верхнее значение
Низковольтные предохранители	6 и 10 15,20 и 25 35—350 430—1000	1 1 1 2	1,5 $I_{ном}$ 1,4 $I_{ном}$ 1,3 $I_{ном}$ 1,3 $I_{ном}$	2,1 $I_{ном}$ 1,75 $I_{ном}$ 1,60 $I_{ном}$ 1,60 $I_{ном}$
Высоковольтные предохранители	До 200	1	1,3 $I_{ном}$	2,0 $I_{ном}$

* Минимальным испытательным током плавкой вставки $I_{исп.\ мин}$ называется ток, при котором вставка перегорает за время более 1 *час*.

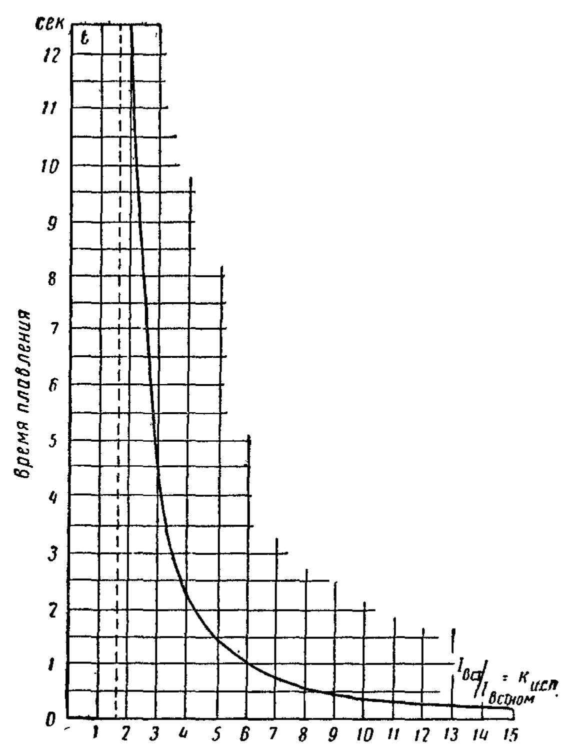


Рис. 266. Защитная характеристика плавкой вставки

§ 6. ИСПЫТАНИЕ КОНДЕНСАТОРНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ

Общие сведения. Бумажно-масляные конденсаторы, служащие для повышения коэффициента мощности, при испытаниях подвергаются в течение 1 *мин* испытанию повышенным напряжением переменного тока. Величина испытательного напряжения приведена в табл. 50.

В качестве испытательного трансформатора при испытании переменным током изоляции конденсатора между его токоведущими частями и заземленным корпусом могут быть использованы однофазные высоковольтные измерительные трансформаторы напряжения типа НОМ-6 или НОМ-35.

Таблица **50**

Величины испытательных напряжений силовых конденсаторов серии КМ

Тип конденсатора	Номинальные величины			Схема соединений	Заводское испытательное напряжение (одноминутное), *кв*	
	напряжение, *кв*	емкость, *мкф*	мощность, *квар*		между выводами	на корпус
КМ-0,22	0,22	263	4	[однофазная]	0,48	2,5
КМ-0,38	0,38	220	10		0,84	2,5
КМ-0,50	0,50	127	10		1,10	2,5
КМ2-22	0,22	657	10		0,48	2,5
КМ2-38	0,38	552	25		0,84	2,5
КМ2-0,50	0,50	318	25		1,10	2,5
КМ-1,05	1,05	28,8	10	[треугольник]	2,31	5,0
КМ-3,15	3,15	3,22	10		6,93	18,0
КМ-6,3	6,3	0,80	10		13,86	25,0
КМ-10,5	10,5	0,29	10		23,10	35,0
КМ2-1,05	1,05	72,20	25		2,31	5,0
КМ2-3,15	3,15	8,0	25		6,93	18,0
КМ2-6,3	6,3	2,0	25		13,86	25,0
КМ2-10,5	10,5	0,635	22		23,10	35,0

После испытаний повышенным напряжением рекомендуется измерять емкость конденсаторов, имеющих последовательное соединение секций, для проверки отсутствия частичного пробоя. Если при этом процентное повышение емкости окажется близким к значениям, указанным в табл. 51, или будет их превосходить, то конденсаторы не следует допускать к дальнейшей эксплуатации.

Таблица 51

Недопустимый процент повышения емкости конденсаторов

Рабочее напряжение конденсатора, в	Увеличение емкости, %
3 150	25
6 300	14
10 500	8

Емкость, измеренная при температуре 20±5°, не должна отличаться от номинальных значений, указанных в табл. 50, более чем на —5÷+15%, а $\operatorname{tg}\delta$, измеренный при частоте тока 50 *гц* и температуре 20±5°, не должен быть выше 0,003 для конденсаторов напряжением 3150, 6300 и 10 500 *в* и 0,004 для конденсаторов напряжением 220, 380, 500 и 1050 *в*.

Конденсаторы допускают длительную работу при повышении напряжения в сетях до 110% номинального значения и эффективном значении тока до 130% номинального. Реактивная мощность конденсатора определяется по формуле

$$Q = 2\pi f C U^2 \cdot 10^{-3} = \omega \cdot C \cdot U^2 \cdot 10^{-3}\text{, квар,}$$

где U — номинальное напряжение конденсатора, *кв*;
f — частота, *гц*;
C — емкость (для трехфазного конденсатора суммарная), *мкф*.

Перед вводом в эксплуатацию батареи конденсаторов проверяется мегомметром исправность цепей. При этом необходимо учитывать следующее:

а) включение конденсаторов батареи, когда напряжение на сборных шинах превышает наивысшее допустимое для данного типа конденсатора напряжение, запрещается;

б) включение конденсаторной установки ранее чем через 1 *мин* после ее предыдущего отключения не рекомендуется. Исключение составляют случаи автоматического отключения резервного питания;

в) для включения и отключения конденсаторов должны применяться быстродействующие выключатели;

г) выключатели должны выбираться на ток не менее 1,2 номинального тока конденсаторной батареи.

Испытания изоляции конденсаторов повышенным напряжением переменного тока производятся согласно схемам, изображенным на рис. 267 при плавном подъеме напряжения от величины 0,3—0,5 номинального до испытательного значения в течение времени от 10 до 60 *сек*. Отсчет времени выдержки конденсаторов под напряжением должен начинаться с момента,

когда напряжение достигнет величины, установленной для конденсаторов испытуемого типа. При разряде конденсаторы должны замыкаться на сопротивление величиной:

а) для конденсаторов на рабочее напряжение до 500 *в* — не менее 3000 *ом*;

б) для конденсаторов на рабочее напряжение свыше 500 *в* — не менее 10 000 *ом*.

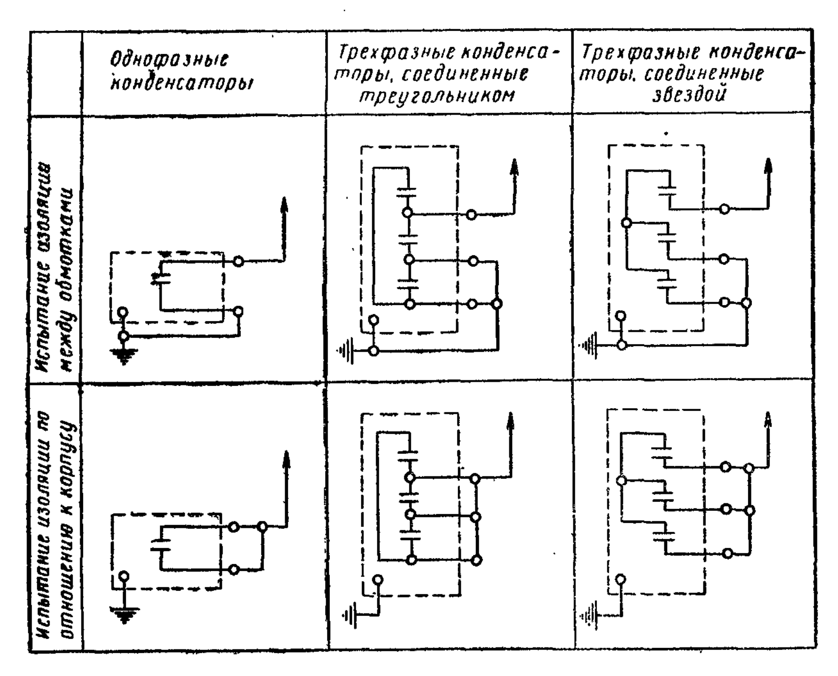


Рис. 267. Схемы испытаний изоляции конденсаторов повышениым напряжением переменного тока

Во время испытания повышенным напряжением должно производиться наблюдение за показаниями вольтметра, измеряющего подаваемое на конденсаторы напряжение.

Выдержавшими испытание считаются конденсаторы, у которых при испытании высоким напряжением не наблюдается электрического перекрытия или пробоя.

У конденсаторов, выдержавших испытания повышенным напряжением, измеряется величина емкости с помощью мостов переменного тока типов МД-16, Р-525, МДП и др.; вольтметра или миллиамперметра. Измеренные величины емкостей не должны отличаться от исходных данных более чем на —10÷

+20%. В противном случае конденсаторы считаются непригодными и включению не подлежат.

У каждого конденсатора проверяется мегомметром сопротивление изоляции $R_{60''}$, отсутствие замыкания между выводами и корпусом и коэффициент абсорбции $K_{60''} = R_{60''}/R_{15''}$, при этом величина сопротивления изоляции ($R_{60''}$) и отношение $R_{60''}/R_{15''}$ не нормируются.

При включении силовых конденсаторных установок в эксплуатацию рекомендуется производить их испытание трехкратным включением на рабочее (номинальное) напряжение сети с измерением токов по всем фазам батареи. Токи различных фаз не должны отличаться друг от друга более чем на 5%.

Смонтированные конденсаторные батареи при приемо-сдаточных испытаниях должны быть испытаны в течение 1 *мин* напряжением промышленной частоты, при этом испытательное напряжение принимается величиной 15,3 *кв* при номинальном напряжении конденсатора 3 *кв*; 21 *кв* — при 6 *кв*; 30 *кв* — при напряжении 10 *кв*.

§ 7. ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Общие сведения. Основными требованиями, которым должны удовлетворять распределительные устройства, являются надежность работы всех частей устройства и безопасность их обслуживания. Надежная работа распределительных устройств обеспечивается правильным выбором и правильной установкой электрооборудования (электрических аппаратов, токоведущих частей и изоляторов), удобством его эксплуатации и хорошей локализацией аварий с электрооборудованием в случае их возникновения.

Для иллюстрации ниже приводятся примеры компоновок и конструкций некоторых распределительных устройств высокого напряжения. На рис. 268 приведена компоновка закрытого распределительного устройства 10 *кв* для мощных ТЭЦ с относительно большим количеством выключателей.

На рис. 269 показана компоновка закрытого распределительного устройства напряжением 6—10 *кв*, выполненного с применением сборных конструкций.

Поперечный разрез выполнен по цепи отходящей линии (левая половина разреза, где виден реактор, но не показан выключатель МГГ-10) и по цепи генератора (правая половина разреза с выключателем МГГ-229). Камеры всех аппаратов выполнены из сборных конструкций с каркасами из профильной стали и перегородками из асбестоцементных плит.

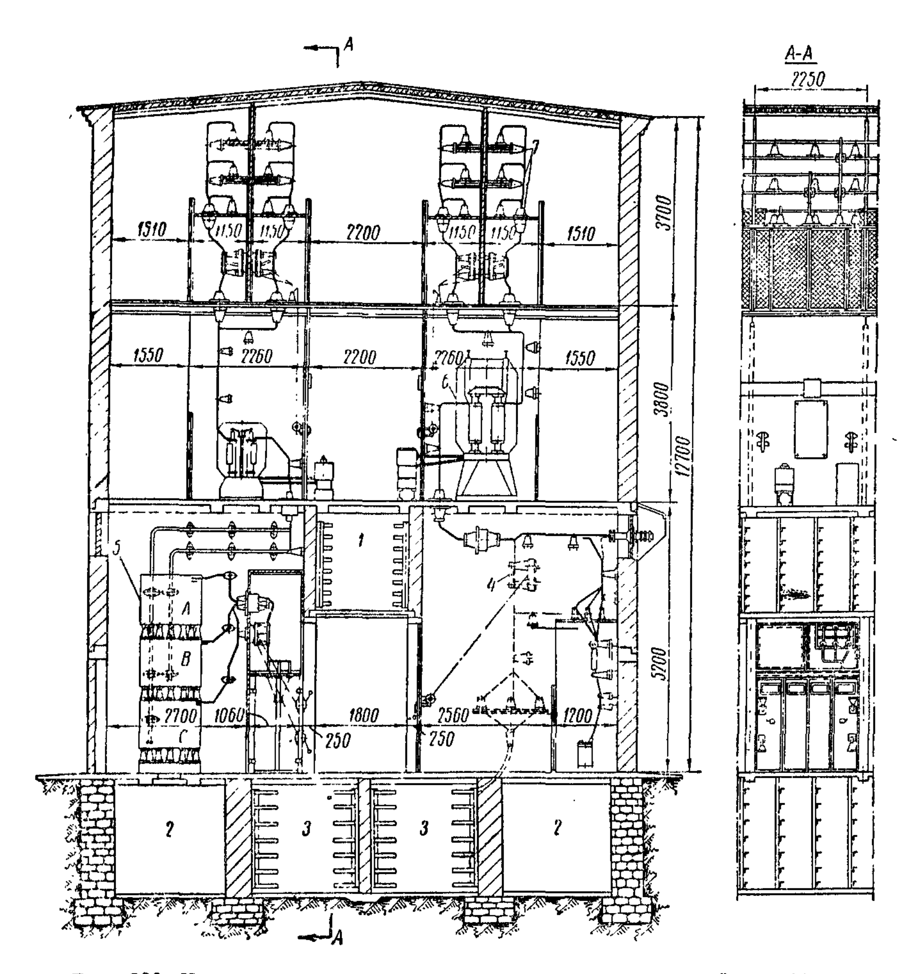


Рис. 268. Компоновка закрытого распределительного устройства 10 *кв*:

1 — туннель для контрольных кабелей, *2* — вентиляционные туннели, *3* — туннели для силовых кабелей, *4* — разъединитель, *5* — реактор, *6* — выключатель, *7* — сборные шины

На рис. 270 показана компоновка двухэтажного закрытого распределительного устройства напряжением 6—10 *кв*.

Все электрооборудование устанавливается в предварительно изготовленных в мастерских или на заводе каркасных ка-

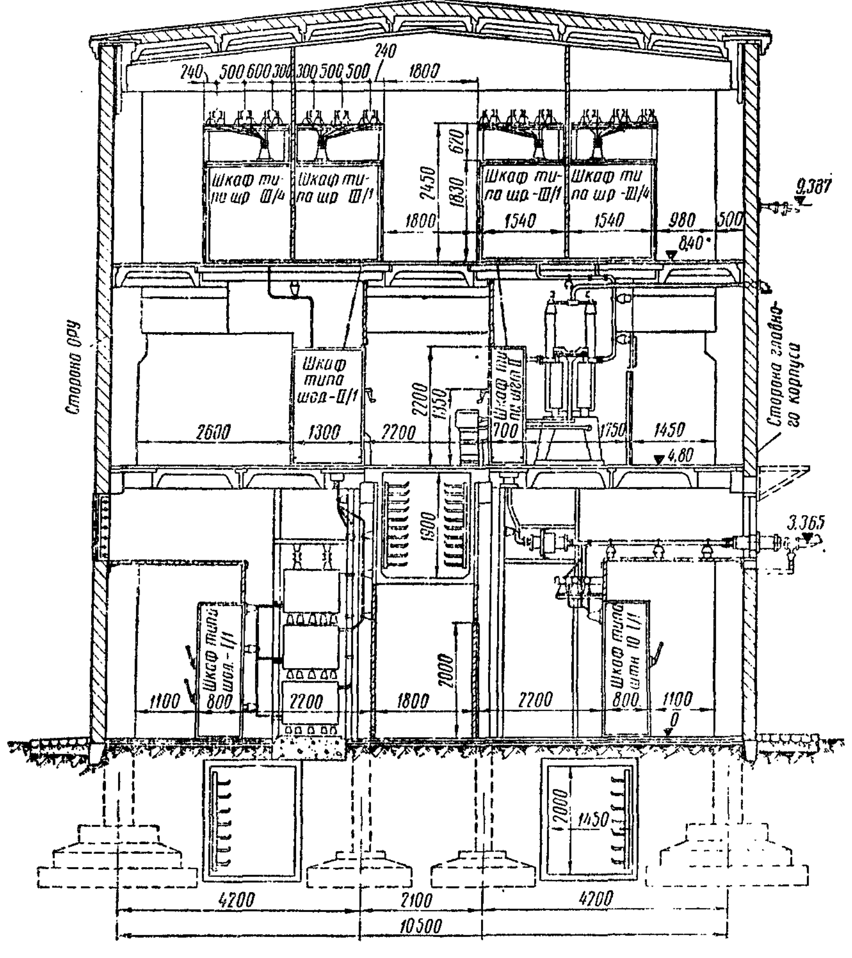


Рис. 269. Компоновка закрытого распределительного устройства 6–10 *кв*, выполненного с применением сборных конструкций

мерах и шкафах, которые затем монтируются вместе с электрооборудованием в готовом здании. Для затаскивания оборудования на каждом этаже главного распределительного устройства (ГРУ) во временном торце здания предусмотрены монтажные проемы. Фундаменты и туннели выполняются также из сбор-

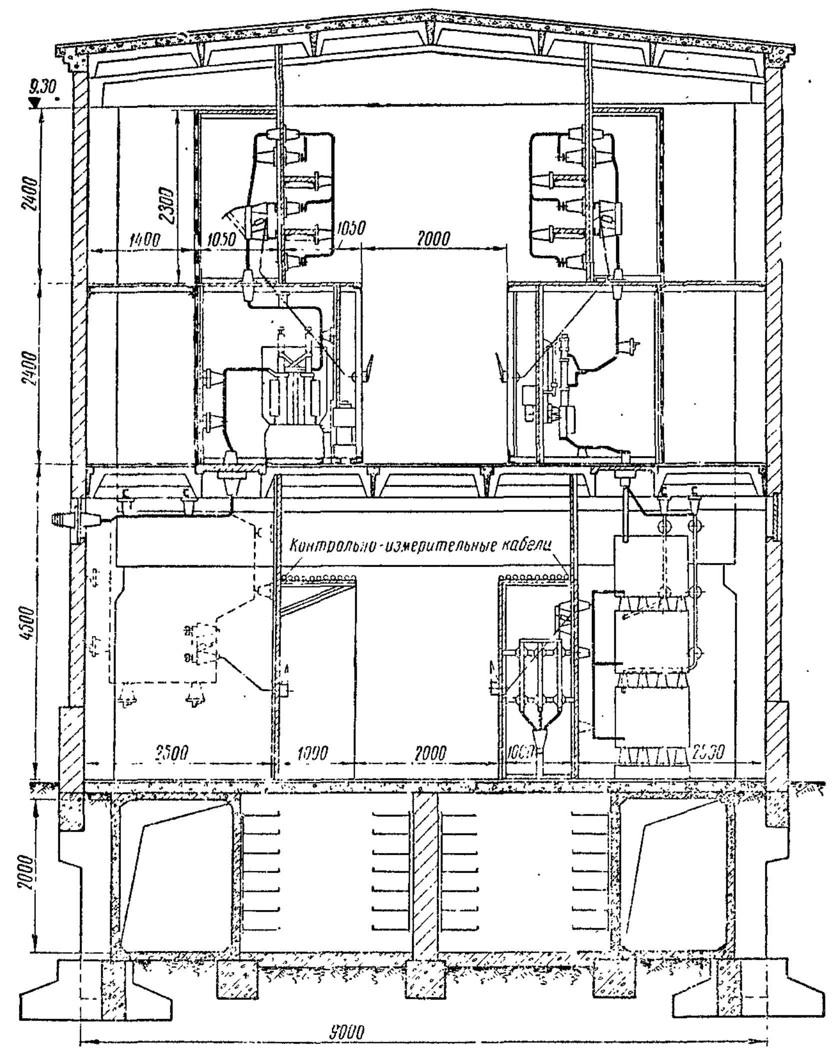


Рис. 270. Компоновка закрытого двухэтажного распределительного устройства 6—10 *кв* сборной конструкции

ного железобетона. Таким образом, эта конструкция распределительного устройства предусматривает выполнение как строительной, так и монтажной частей современными индустриальными способами, что сокращает сроки и стоимость сооружения.

На рис. 271 показан шкаф комплектного распределительного устройства (КРУ) завода «Электрощит» для внутренней

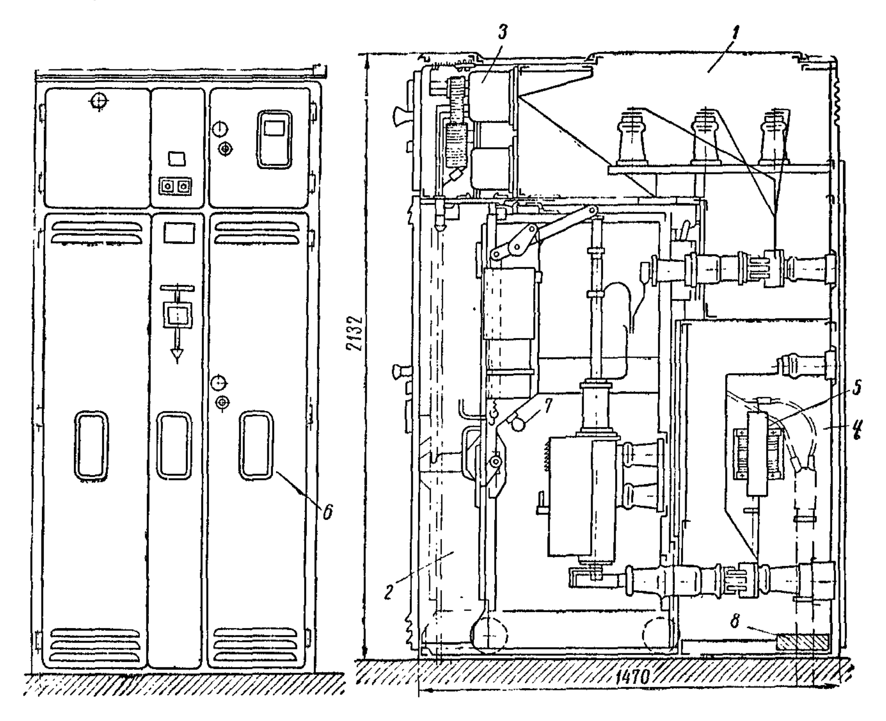


Рис. 271. Шкаф комплектного распределительного устройства (КРУ) завода «Электрощит»:

1 — отсек сборных шин, *2* — отсек тележки, *3* — отсек приборов измерения и защиты, *4* — отсек трансформаторов тока и кабельной разделки, *5* — малогабаритные трансформаторы тока ТПЛ, *6* — смотровые окна, *7* — лампа освещения тележки, *8* — трансформатор земляной защиты

установки на напряжение 3—10 *кв* с выключателями ВМГ-133, а на рис. 272 — выкатная тележка этого КРУ. Для осмотра или ремонта выключателя, испытания привода и т. п. тележка вместе с выключателем, приводом и проходными изоляторами выдвигается из ячейки.

На рис. 273 показан совмещенный разрез по цепям отходящей линии и силового трансформатора открытого распределительного устройства напряжением 110 *кв* с двумя системами сборных шин и одним масляным выключателем на цепь. На

рис. 274 показана комплектная трансформаторная подстанция КТП-110/6—10 *кв* завода «Электрощит», а на рис. 275 закрытая подстанция 110/6 *кв* с воздушными выключателями, запроектированная для некоторых объектов Москвы.

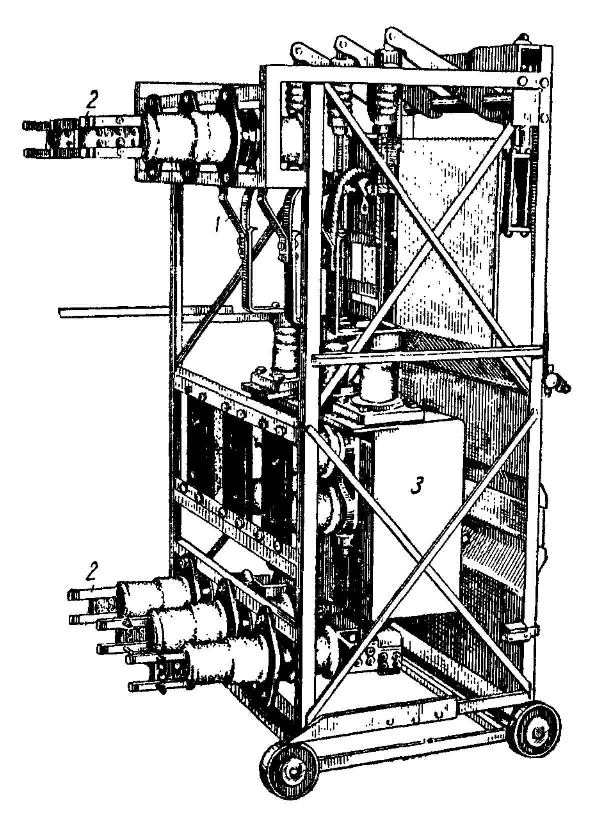


Рис. 272. Выкатная тележка с выключателем комплектного распределительного устройства (КРУ):

1 — шины, 2 — разъединители втычного типа, 3 — масляный выключатель ВМГ-133 с приводом ПС-10

П р и е м о - с д а т о ч н ы е и с п ы т а н и я. После монтажа электрическое распределительное устройство любого типа (открытое, закрытое, сборное, комплектное и т. д.) и любого напряжения должно быть испытано в собранном виде независимо от того, что отдельные его элементы (выключатели, реакторы и т. д.) предварительно подвергались самостоятельным испытаниям.

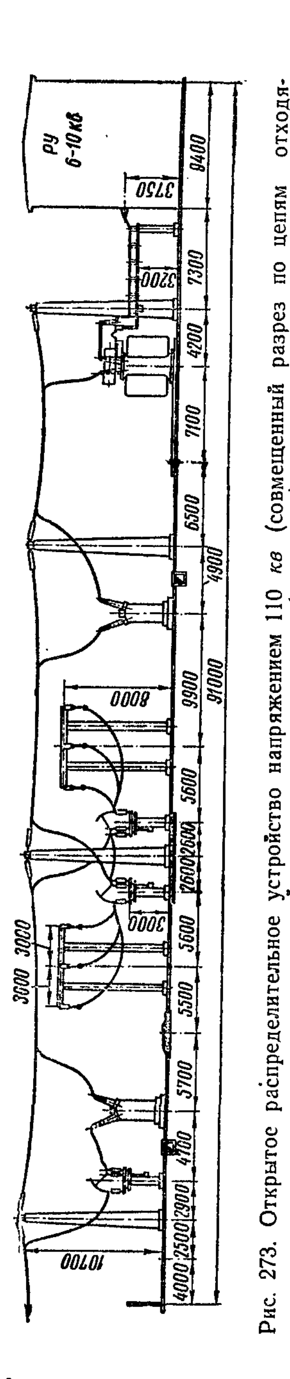


Рис. 273. Открытое распределительное устройство напряжением 110 *кв* (совмещенный разрез по цепям отходящей линии и силового трансформатора)

Испытание распределительных устройств после монтажа (или капитального ремонта) имеет цель произвести проверку качества произведенных работ и выявление таких дефектов оборудования, которые предыдущими испытаниями и внешним осмотром не могли быть обнаружены.

Проверка состояния изоляции. Одним из важнейших видов испытаний является проверка состояния изоляции отдельных частей и элементов распределительных устройств (подвесных и опорных фарфоровых изоляторов, вводных фарфоровых, маслонаполненных и мастиконаполненных и др.). Проверка состояния изоляции позволяет выявить как общий средний уровень, так и слабые места изоляции (местные дефекты).

Наиболее распространенным и эффективным методом контроля изоляции является испытание повышенным напряжением.

Определение состояния подвесной и опорной изоляции производится методом измерения распределения напряжения по изоляции в рабочих условиях при помощи специальной штанги, описанным в § 3 настоящей главы (рис. 263 и 264).

Измерение напряжения по элементам опорных и подвесных изоляторов может быть заменено испытанием повышенным напряжением переменного тока напряжением 50 *кв* на каждый подвесной изолятор или измерением сопротивления изоляции при помощи мегомметра 2500 *в*. Сопротивление изоляции каждого элемента должно быть не менее 300 *Мом*. Проходные изоляторы подвергаются испытанию повышенным напряжением согласно табл. 44, измерению тангенса угла диэлектрических потерь, за исключением фарфоровых изоляторов (ПБ и ПНБ).

Для высоковольтных маслонаполненных, мастиконаполненных и бакелитовых изоляторов и вводов применяются следующие испытания: измерение сопротивления изоляции, измерение тангенса угла диэлектрических потерь, испытание повышенным

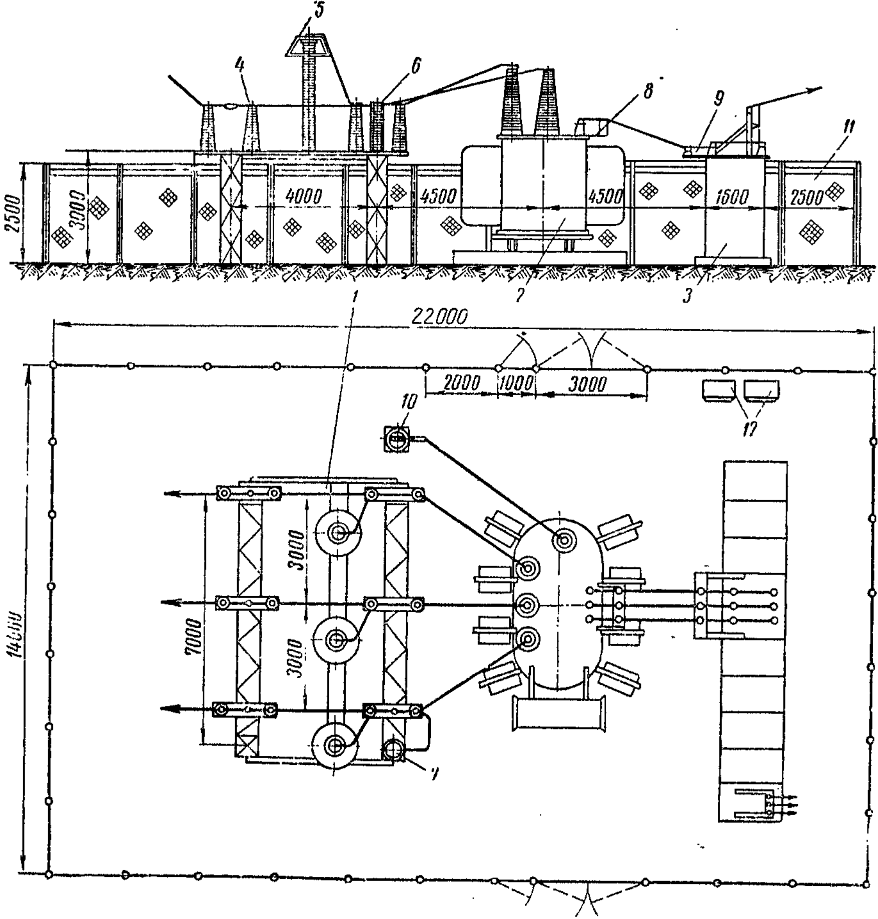


Рис. 274. Общий вид и принципиальная схема комплектной трансформаторной подстанции КТП:

1 — открытое распределительное устройство 110 *кв*, 2 — силовой трансформатор, 3 — комплектное распределительное устройство для наружной установки 6—10 *кв* (КРУН), 4 — разъединитель 110 *кв*, 5 — разрядник, 6 — отделитель, 7 — короткозамыкатель, 8 — кронштейн на силовом трансформаторе, 9 — кронштейн на шкафе ввода, 10 — заземляющий разъединитель нейтрали трансформатора, 11 — металлическое сетчатое ограждение, 12 — шкафы

напряжением, изменение тока утечки на выпрямленном напряжении.

Величина сопротивления изоляции, измеренная мегомметром, должна быть не менее 50 *Мом*. При неудовлетворитель-

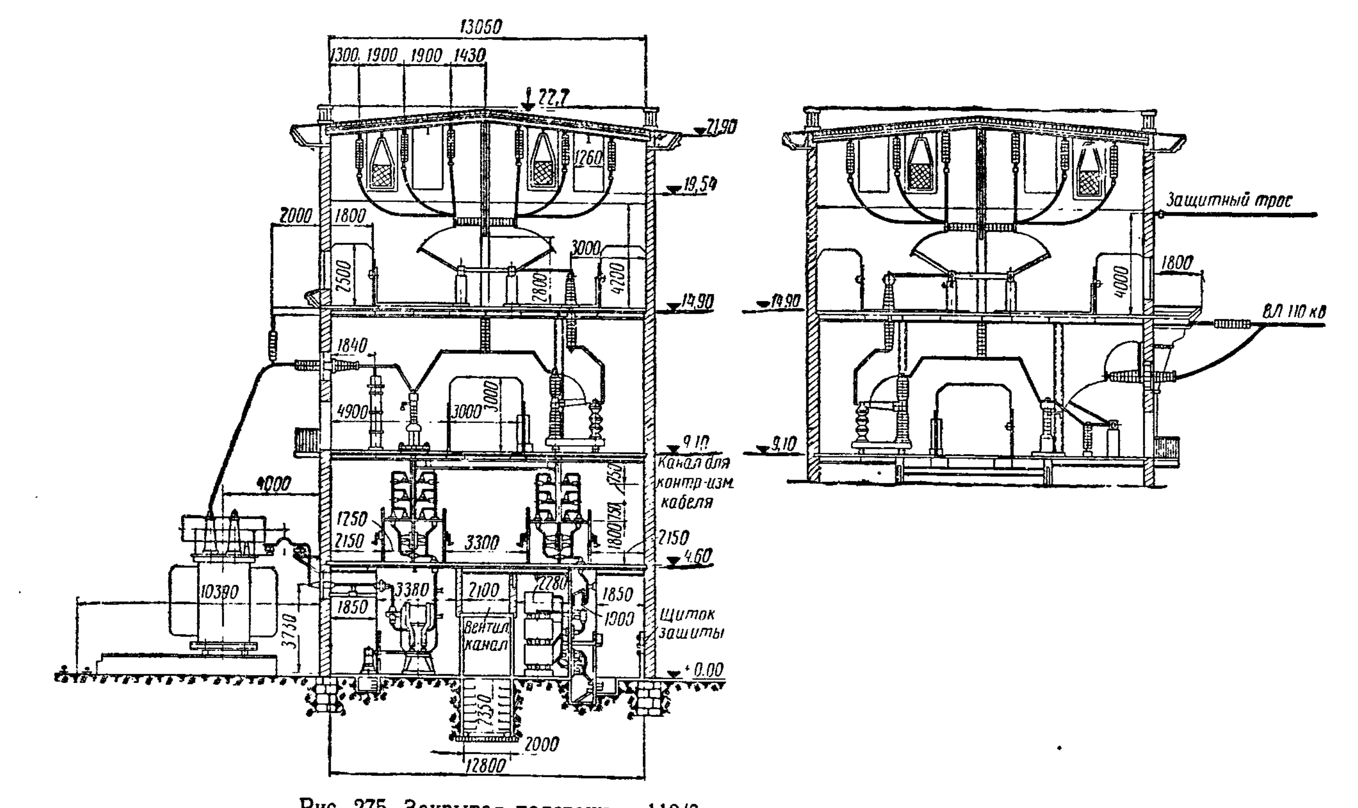


Рис. 275. Закрытая подстанция 110/6 *кв* с воздушными выключателями

ном состоянии изоляции до ее испытания повышенным напряжением должны быть приняты меры по выявлению и замене дефектных изоляторов или же по ремонту и сушке отсыревшей изоляции.

Измерение тангенса угла диэлектрических потерь. Практика наладочных испытаний показала, что контроль тангенса угла диэлектрических потерь у конденсаторных вводов и трансформаторов тока, обладающих небольшой емкостью, порядка 100—300 *пф*, позволяет обнаруживать не только распространенные по всей изоляции, но и местные дефекты. Поэтому измерение $\operatorname{tg} \delta$ для этой группы изоляторов считается основным показателем состояния изоляции вводов и трансформаторов тока.

Измерение тангенса угла диэлектрических потерь вводов и трансформаторов тока с фарфоровой изоляцией может дать вспомогательные данные для оценки состояния изоляции в том случае, если поверхность изоляторов и слой армировочной замазки между металлическим фланцем и фарфором покрыта токопроводящей краской. У изоляторов с основной изоляцией из фарфора наиболее распространенным и опасным дефектом являются трещины в фарфоре. Наиболее эффективным методом обнаружения трещин в фарфоре является испытание повышенным напряжением.

Испытание изоляции закрытых распределительных устройств напряжением до 10 *кв*. Хорошие результаты по обнаружению дефектных изоляторов (с трещинами или пористых) дает измерение по фазам тока утечки на выпрямленном напряжении с помощью кенотрона (рис. 276, *а*).

Выявление дефектных изоляторов производится по величине асимметрии тока утечки и сопротивлению изоляции. Асимметрия по фазам считается недопустимой, если величина ее более двух. Отыскание дефектных изоляторов производится путем измерения сопротивления изоляции каждого из испытанных изоляторов. Чтобы не производить расшиновки изоляторов, применяются измерения при помощи накладного гибкого проволочного электрода, который накладывается на середину изолятора.

Схемы испытания изоляции распределительных устройств повышенным напряжением переменного тока приведены на рис. 276, *б*.

Величина испытательного напряжения контролируется по вольтметру, предварительно проградуированному по шаровому разряднику. При испытании сборных шин и коммутационных аппаратов распределительного устройства испытательное напряжение должно прикладываться:

а) между токоведущими и заземленными частями (для коммутационных аппаратов при включенном и отключенном положении);

б) между разомкнутыми контактами одного и того же полюса при отключенном положении аппарата.

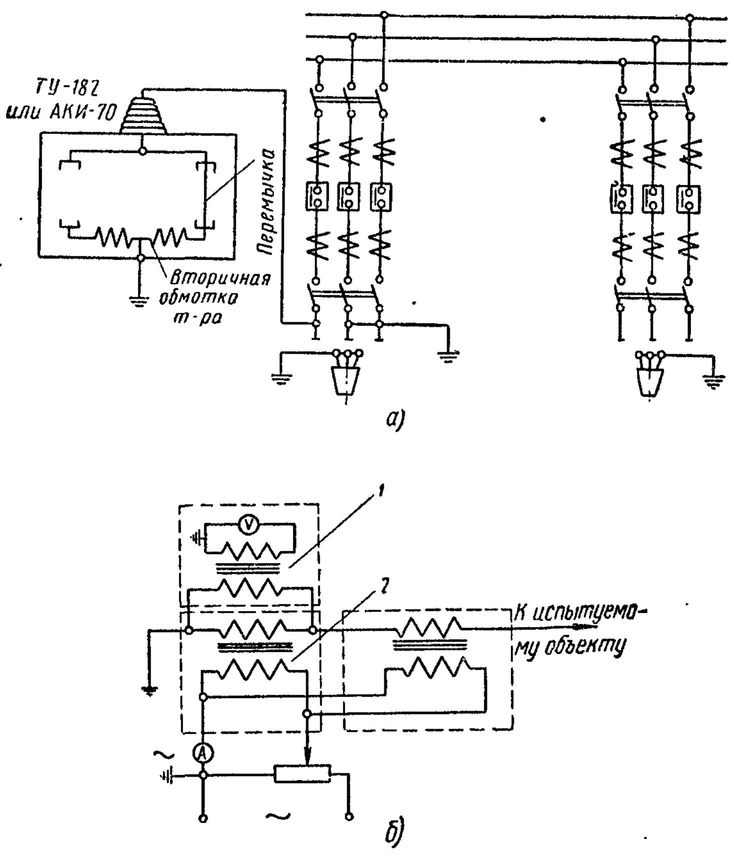


Рис. 276. Схемы испытания изоляции распределительного устройства 10 *кв* повышениым напряжением:

а — с использованием кенотронного аппарата; *б* — с применением трансформаторов напряжения: *1* — трансформатор напряжения для контроля величины испытательного напряжения, *2* — испытательный трансформатор

Длительность испытания 1 *мин.* Величина испытательного напряжения промышленной частоты для РУ — 6 *кв*—32 *кв* и для РУ — 10 *кв*—42 *кв.*

Напряжение при испытании отключающих штанг, служащих для ручного управления однополюсными разъединителями для

внутренней и наружной установки на номинальное напряжение до 35 *кв* включительно, прикладывается между наконечником отключающей штанги и ограничивающим длину захвата упором или шайбой.

При испытании трубчатых высоковольтных предохранителей испытательное напряжение прикладывается между разомкнутыми контактами одноименного полюса (без патрона) и относительно корпуса и между полюсами (с патроном и плавкой вставкой).

Испытуемые объекты распределительного устройства считаются выдержавшими испытание, если во время испытания не наблюдалось пробоя или повреждения изоляции, а также частичных разрядов. При приложении испытательного напряжения допускается возникновение слабой кистевой короны в воздухе или слабых скользящих искр по внешней поверхности фарфора.

У сборных шин и ошиновки высокого напряжения при приемно-сдаточных испытаниях наряду с вышеизложенными испытаниями проверяется также сопротивление контактов или падение напряжения в контактах. Величина сопротивления участка шин в месте контактного соединения не должна превышать сопротивления участка шин той же длины без контактов более чем в 1,2 раза.

Глава шестая

ИСПЫТАНИЕ И НАЛАДКА ВТОРИЧНЫХ ЦЕПЕЙ

§ 1. ИСПЫТАНИЕ И НАЛАДКА ВТОРИЧНЫХ ЦЕПЕЙ

Назначение и область применения вторичных цепей и отдельных ее элементов. Элементы электроустановок — генераторы, трансформаторы, преобразователи, электродвигатели и другое электрооборудование, в котором электроэнергия вырабатывается, преобразуется, распределяется и потребляется, — составляют так называемые первичные цепи.

Движение электрического тока от шин генератора электростанции до электроприемников потребителя направляется коммутационными аппаратами (выключателями, разъединителями, контакторами, автоматами и т. п.), т. е. такими устройствами, которые предназначены для коммутации (переключения проводников, связанных с изменением направления тока) в первичных цепях. Такие устройства называются первичными цепями (цепи первичной коммутации).

Для дистанционного управления всеми этими коммутационными аппаратами и для контроля за работой оборудования служат вспомогательные устройства, состоящие из контрольно-измерительных приборов, приборов управления и сигнализации, релейной защиты и автоматики, так называемые вторичные устройства.

Связь между ними и электрооборудованием, т. е. первичными цепями, расположенными в распределительных устройствах или других помещениях электроустановок, осуществляется посредством измерительных трансформаторов на высоком напряжении и непосредственно на низком напряжении — при помощи проводов и кабелей, называемых контрольными или контрольно-измерительными. Схемы электрических соединений этих устройств называют схемами вторичных цепей (цепи вторичной коммутации).

На рис. 277 в качестве примера показана принципиальная схема максимально-токовой защиты линии, где трансформатор тока, установленный на фазе *А*, условно обозначают TT_a, а на фазе *С* — соответственно TT_c. Цифрами обозначают номер позиции данного элемента.

При помощи устройств вторичных цепей осуществляется управление установками, например включение и отключение выключателей высокого напряжения, разъединителей, автоматов и других аппаратов, пуск и останов электродвигателей, регулирование напряжения силовых трансформаторов под нагрузкой, автоматическое включение резерва (АВР), автоматическое повторное включение цепей (АПВ), автоматическое гашение поля генератора (АГП) и др.

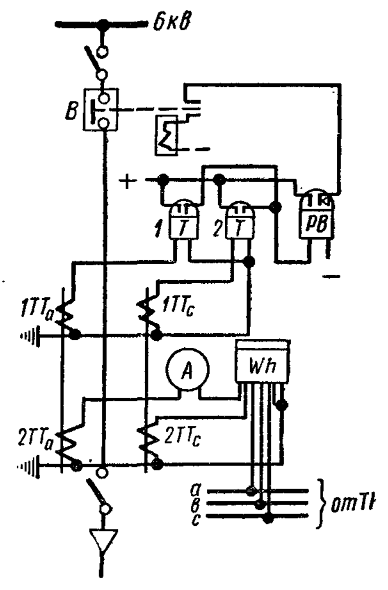


Рис. 277. Принципиальная схема максимально-токовой защиты линии:

1 и *2* — токовые реле (Т) в фазах *А* и *С*; *В* — выключатель, *РВ* — реле времени, *Wh* — счетчик

Устройства вторичных цепей дают возможность также контролировать состояние как всей установки, так и ее элементов. Они измеряют и контролируют различные параметры в цепях высокого напряжения, например измерение величин высокого напряжения, тока, мощности, сдвига фаз, частоты, температуру обмоток генератора и силовых трансформаторов и др.

Для осуществления дистанционного управления выключатель, разъединитель или другой аппарат снабжается приводом (исполнительным органом), цепь питания которого при включении или отключении аппарата замыкают вручную при помощи ключа управления или кнопки (органа управления). Замыкание цепи управления называют командой, а место, откуда подается команда, постом управления. Схема электрических соединений между постом управления и приводом называется схемой управления.

Существуют различные схемы управления, сигнализации, защиты, блокировки, автоматизации и т. д. Приведем некоторые примеры этих устройств.

Схемы сигнализации положения выключателей выполняются: с тремя сигнальными лампами, со звуковым контролем цепей управления и со световым.

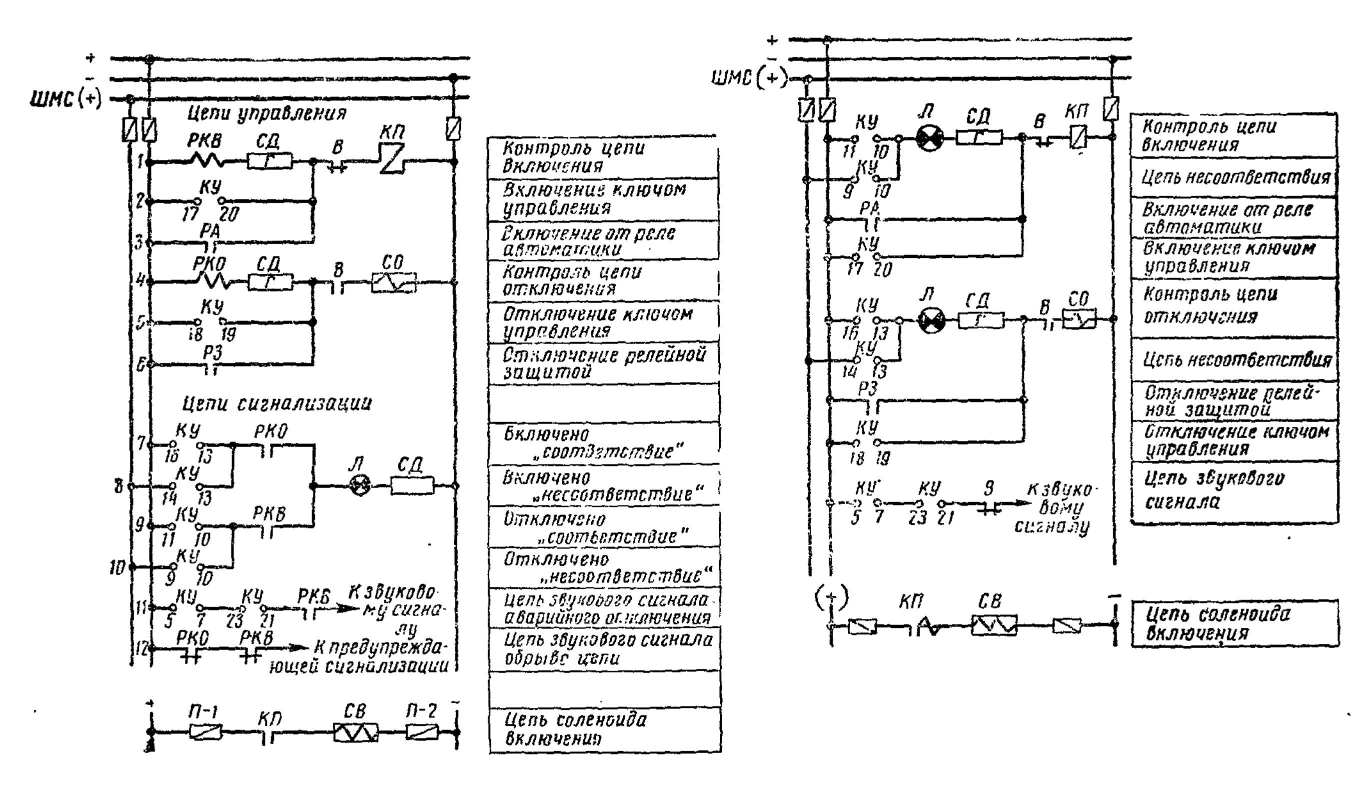


Рис. 278. Схема управления и сигнализации выключателя со звуковым контролем цепей управления

Рис. 279. Схема управления и сигнализации выключателя со световым контролем цепей управления

Примером могут служить две схемы, представленные на рис. 278 и 279, где в качестве оперативного тока используется постоянный ток. Электрические схемы управления и сигнализации, а также схемы защиты и автоматики принято изображать в виде «разверток». Именно так выполнены схемы, приведенные на рис. 278 и 279.

Сигнализация обращает внимание обслуживающего персонала на изменения, происшедшие в режиме электроустановки. В зависимости от назначения применяются: сигнализация положения электрооборудования, аварийная, предупреждающая и командная сигнализации.

Сигнализация положения предназначается для указания включенного и отключенного положений выключателей, разъ-

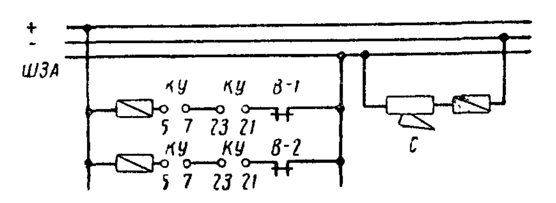


Рис. 280. Схема звуковой аварийной сигнализации:

КУ — ключ управления, *В-1* н. *В-2* — выключатели, *С* — звонок, *ШЗА* — шннкн звуковой аварнйной снгнализацин

единителей и других коммутационных аппаратов. Положение выключателей сигнализируется при помощи ламп или специальными ключами управления со встроенным световым сигналом.

Сигнализацию положения разъединителей на крупных электроустановках обычно выполняют при помощи сигнальных приборов ПС (прибор сигнальный), устанавливаемых на панелях или пультах щитов управления.

Аварийная сигнализация предназначается для извещения персонала об аварийном отключении электрооборудования. Принцип действия аварийной сигнализации (рис. 280) основан на несоответствии между положением ключа управления КУ и положением аварийно отключившегося аппарата (например, выключателя В-1 или В-2). Обычно на щите управления предусматривается один общий для всей установки звуковой аварийный сигнал, служащий для привлечения внимания дежурного к происшедшему аварийному отключению, и индивидуальные световые сигналы для каждого аппарата — для указания, где именно произошло аварийное отключение.

Предупреждающая сигнализация предназначается для извещения обслуживающего персонала о наступлении ненормаль-

ного режима в работе отдельных частей установки, например извещение о перегрузке генератора, трансформатора, о повышении температуры масла в подшипниках генератора или крупного двигателя, о повышении уровня масла в силовых трансформаторах сверх допускаемого предела, о работе релейной защиты, о замыкании на землю в сети переменного или постоянного тока и т. д.

Командная сигнализация предназначается для связи между дежурными разных цехов и для взаимной передачи основных распоряжений — команд. Например, на электростанции — между щитом управления и машинным залом или котельной, между щитом управления и диспетчером энергосистемы, между щитом управления агрегата и диспетчером предприятия и т. д.

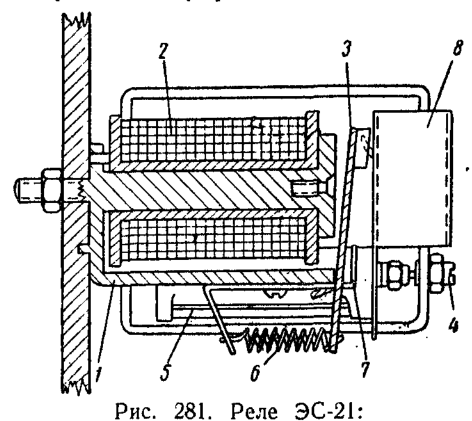


Рис. 281. Реле ЭС-21:

1 — магнитопровод, *2* — обмотка, *3* — якорь, *4* — регулировочный винт, *5* — подвижные контакты, *6* — возвратная пружина, *7* — упорная скобка, *8* — флажок

Для сигнализации применяют панели со световыми и звуковыми сигналами, различные указательные и сигнальные реле. Примером могут служить сигнальные реле (блинкера) ЭС-21 (рис. 281) электромагнитной системы клапанного типа, применяемые в цепях постоянного тока. По способу включения различаются реле с последовательной и параллельной обмотками. Реле с последовательной обмоткой реагируют на протекание тока в цепи, в которую они включены, а реле с параллельной обмоткой — на появление напряжения.

С применением устройств телемеханики вторичные цепи вышли за пределы электростанций и подстанций: каналы телеуправления, телеизмерения, телерегулирования и телесигнализации протянулись от диспетчерских пунктов на десятки и сотни километров.

Весь комплекс устройств управления релейной защиты, измерения, сигнализации, автоматики, телемеханики, блокировки, приводы выключателей, источники тока, используемые для их работы, многочисленные соединения имеют целью обеспечить правильное ведение режима и быстрое отключение электрооборудования при коротких замыканиях.

В современных электроустановках большое значение имеют вторичные цепи, предназначенные для оперативных целей.

Электростанции, подстанции и другие энергетические установки не могут работать без надежной релейной защиты. При этом, чем мощнее и ответственней агрегат или установка, тем выше требования к самой защите, а также к проводам и кабелям, соединяющим аппараты в единую схему. При значительных расстояниях между щитом управления и выключателями без дистанционных управлений, сигнализации и измерений нельзя достаточно быстро производить необходимые оперативные переключения.

Современные электростанции и подстанции сооружаются в расчете на безотказно действующую автоматику, а в ряде случаев и телемеханику. Поэтому резервного оборудования на них предусматривается меньше, чем раньше. Оборудование размещено предельно сжато, сигнализация положения выключателей и разъединителей сведена до минимума. С введением автоматики и телемеханики резко сократилось количество обслуживающего персонала.

Контроль вторичных цепей. Неполадки во вторичных цепях могут привести не только к отказам в переключениях, но и к крупным авариям. Поэтому аппаратура и цепи управления и сигнализации (ключи, лампы, предохранители, звонки, сирены и т. д.) осматриваются, подвергаются чистке и при необходимости ремонтируются. Кроме того, проверяются напряжение (ток) срабатывания и возврата промежуточных реле контроля цепей управления, реле звуковой и световой сигнализаций и пр.; правильность работы всей схемы во всех предусмотренных режимах; правильность выбора плавких вставок предохранителей, их селективность и надежность действия.

При питании цепей управления и сигнализации от шин постоянного тока следует проверять их полярность, т. е. определять «плюс» и «минус». Это определение производится поляризованным вольтметром. Плюсовую шину окрашивают красным цветом, минусовую — синим. Цепи проверяются поэлементно путем прозвонки и сверки с чертежами.

Внешний осмотр вторичных цепей. При внешнем осмотре проверяется соответствие выполнения устройства проекту и качество монтажа. В частности, проверяется отсутствие видимых повреждений (обрывов, изломов, нарушений изоляции) и перекрещивания контрольных проводов и кабелей у зажимов, надежность крепления последних на панелях, наличие изоляционных прокладок между проводами и крепящими их скобами, применяемая аппаратура, наличие различных надписей на панелях и отдельных аппаратах, соответствие их исполнительным схемам и инструкциям для дежурного персонала.

Особое внимание следует обратить на надежность контактных соединений и присоединений к аппаратуре. Одновременно

проверяется наличие и состояние технической документации — схем, расчетов, уставок защит, инструкции дежурному персоналу по обслуживанию защиты и автоматики и пр.

После внешнего осмотра проверяется правильность маркировки по принципиально-монтажной или монтажной схеме.

Проверка схемы и маркировка вторичных цепей. При проверке первичных и вторичных цепей электроустановки требуется, кроме знания схемы, особое внимание и строгая последовательность операций по проверке с условной отметкой проверяемых участков в принципиально-монтажной схеме электроустановки. Как правило, к началу проверки всей коммутации монтаж должен быть полностью закончен.

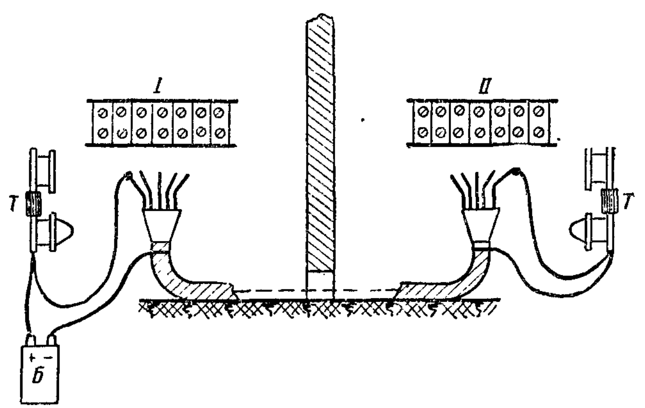


Рис. 282. Прозвонка контрольного кабеля при помощи двух телефонных трубок

Путем прозвонки и внешнего осмотра проверяется правильность выполнения схемы защиты и автоматики, маркировки всех проводов, жил кабелей и самих кабелей. Все ошибки немедленно исправляются, допустимые отступления от проекта отмечаются в протоколе.

Для проверки схемы и маркировки вторичных цепей в настоящее время применяют много оригинальных приборов и аппаратов, например универсальный прозвоночный аппарат, жилоискатель для определения одноименных жил контрольных кабелей и проводов, прибор Хвощука для проверки кабельных жил и др.

Довольно надежным и простым способом проверки вторичных цепей может служить способ прозвонки с применением двух телефонных трубок *Т* (рис. 282), которые присоединяются одним из своих двух проводов к металлической оболочке с противоположных концов контрольного кабеля. Один из наладчи-

ков присоединяет свободный провод трубки к одной из проверяемых жил кабеля, а второй — поочередным присоединением к свободным жилам на другом конце кабеля добивается связи со своим помощником. При установлении связи ведущий навешивает на жилу бирку и сообщает ее номер второму наладчику, который также навешивает бирку на ту же жилу. В таком же порядке производится поиск следующей жилы. Недостатком описанного способа является необходимость иметь двух наладчиков. Более простым является применение контрольных кабелей, у которых отдельные жилы имеют разную цветную окраску.

Если оба конца кабеля находятся в одном помещении на близком расстоянии один от другого или прозванивается панель со скрытым монтажом, то для проверки цепей удобно использовать звонок, мегомметр, вольтметр или лампу. Приборы при этом соединяют, как указано на схемах, изображенных на рис. 283. Во всех указанных случаях прибор и источник тока соединяют последовательно. Один конец от прибора или источника тока присоединяют к жиле кабеля или проводу. Второй конец по очереди соединяют со всеми жилами или проводами. Отклонение стрелки прибора, горение лампы, работа звонка показывают, что жила определена правильно.

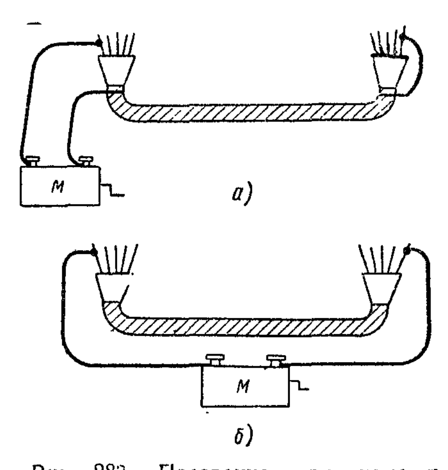


Рис. 283. Прозвонка при помощи мегомметра:

а — длинного кабеля, *б* — короткого кабеля

Ниже приводится описание универсального прозвоночного аппарата карманного типа, внешний вид которого показан на рис. 284. Прозвоночный аппарат представляет собой портативный ящик размером 175×80×40 *мм*, на верхней крышке которого смонтированы: переключатель на два положения типа тумблер для переключения аппарата на вызов или разговор; две нормально разомкнутые кнопки (одна для вызова по телефону, другая для подачи импульса при определении полярности); три зажима для присоединения проводов при различных режимах работы аппарата. На торцовой стенке установлены четыре зажима для определения полярности и на правой боковой стенке — два гнезда для присоединения вилки низкоомной микротелефонной трубки, которая присоединяется по мере надобности.

На нижней крышке (внутри ящика) расположен омметр карманного типа (малогабаритный), позволяющий измерять сопротивление в пределах от 0 до 300 *ом* сравнительно точно и от 300 до 5000 *ом* приближенно, электрический звонок со снятыми чашками и молоточком, действующим при напряжении постоянного тока 2—4 *в*, двухваттное сопротивление 5 *ом* для ограничения тока при одновременно нажатых вызывных кнопках двух соединенных между собой аппаратов и батарейка для карманного фонаря на 4 *в*.

Для повышения надежности работы схемы батарейки двух участвующих в работе аппаратов соединяются последовательно (рис. 285). При этом выходные зажимы первого аппарата *С* — связь и *П* — прозвонка при работе имеют плюсовую полярность (знак плюс).

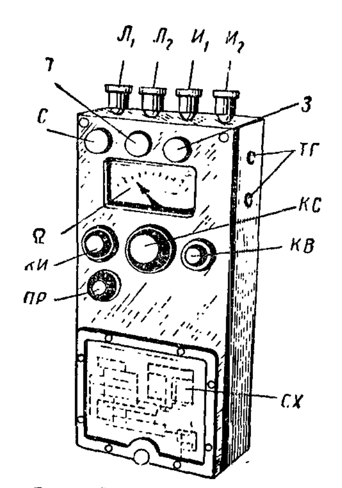


Рис. 284. Внешний вид универсального прозвоночного аппарата:

Ω — омметр, *КС* — корректор стрелки, *С*, *П*, *З* — зажимы для разных режимов работы, $Л_1$, $Л_2$, $И_1$, $И_2$ — зажимы для определения полярности, *ПР* — переключатель разговор-вызов, *КВ* — кнопка вызова, *КИ* — кнопка импульса, *ТГ* — телефонные гнезда, *СХ* — схема аппарата

Аналогичные зажимы второго аппарата имеют минусовую полярность (знак минус). Следовательно, при работе двух лиц по прозвонке с разговором и без него должны обязательно применяться аппараты с разноименной полярностью. Для остальных видов работ разноименная полярность аппаратов значения не имеет. Прозвонка проводов и жил кабелей с двухсторонним контролем, концы которых находятся в разных помещениях, производится по схемам рис. 286 и 287.

Сначала проверяется исправность аппаратов и собирается схема. Зажимы аппаратов *З* (земля) присоединяются к оболочке кабеля или заземляющему контуру. Затем к зажимам *П* присоединяется гибкий проводник с зажимом на конце типа «крокодил». Ведущий испытание, находящийся в первом помещении, присоединяет проводник от зажима *П* к любой жиле кабеля или провода и наблюдает за стрелкой омметра. В это время помощник, находящийся во втором помещении, начинает своим проводником от зажима *П* аппарата поочередно прикасаться к каждой жиле кабеля или провода и следить за положением стрелки омметра. В тот момент, когда помощник прикоснется к жиле, которую он отыскивает, стрелки обоих последовательно соединенных приборов (омметров) отклоняются.

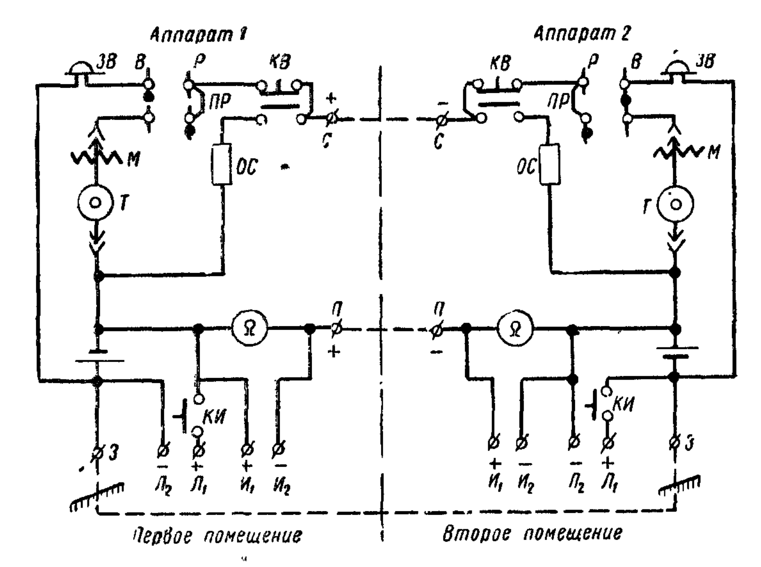


Рис. 285. Принципиальная схема включения двух универсальных прозвоночных аппаратов при работе в разных помещениях:

М — микрофон, *ЗВ* — звонок, *ОС* — ограничительное сопротивление

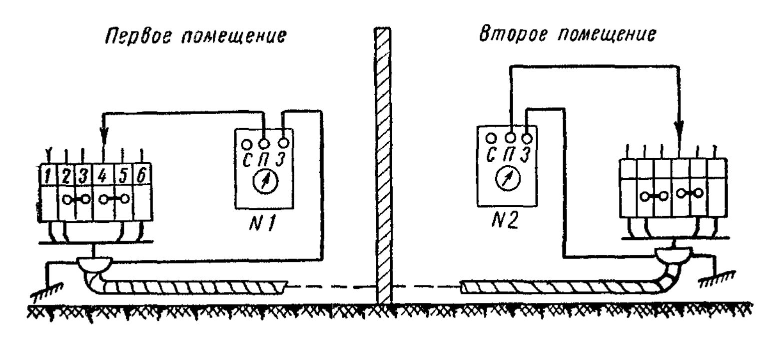


Рис. 286. Прозвонка кабелей, концы которых находятся в разных помещениях, при помощи универсального прозвоночного аппарата без телефонной связи

После этого к найденной жиле присоединяют зажимы *С* (связь) аппаратов в обоих помещениях, переключатели *ПР* обоих аппаратов переводят в положение *В* — «вызов» и на короткий промежуток времени нажимают вызывную кнопку *КВ* (рис. 285). Получив ответный сигнал, ставят переключатели *ПР* аппаратов в положение *Р* — «разговор» и пробуют связь, после чего аппараты готовы к дальнейшей работе.

При работе с универсальным прозвоночным аппаратом следует помнить, что после каждого временного перерыва в работе необходимо переключатель *ПР* поставить в положение «вызов», иначе невозможно будет произвести следующий вызов. Далее прозвонка ведется так же, как и при отыскании провода

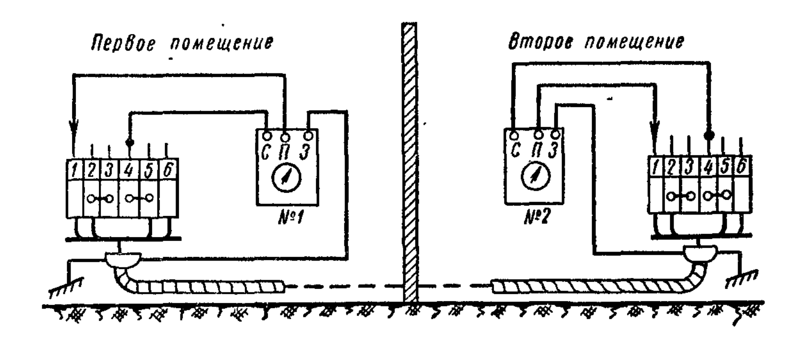


Рис. 287. Прозвонка кабелей, концы которых находятся в разных помещениях, при помощи универсального прозвоночного аппарата с телефонной связью

для связи, с той лишь разницей, что работа производится при наличии непрерывающейся телефонной связи, и ведущий испытание каждый раз при переходе на новую жилу спрашивает помощника об отклонении прибора. В последовательной цепи два одинаковых прибора должны дать одинаковые отклонения. Если один из приборов даст уменьшенное показание или совсем ничего не показывает, это означает, что имеется какая-то ненормальность (нарушение изоляции, наличие обходной цепи и т. п.) и ее следует устранить.

Наличие постоянной непрерывающейся связи с двухсторонним контролем дает очень эффективный результат прозвонки, при котором малейшее нарушение изоляции по отношению к земле полностью выявляется.

Короткие кабели, а также провода на панелях прозваниваются обычно одним человеком при помощи одного аппарата (рис. 288). Работа производится без телефонной связи. Переключатель *ПР* (рис. 285) может находиться в любом положе-

нии. К зажимам *П* и *З* аппарата присоединяются гибкие концы длиной 1,5—2 *м* с зажимами на концах типа «крокодил». Шкала омметра отградуирована так, что при соединении проводов между собой стрелка омметра покажет нуль, в противном случае стрелка отклонится до крайнего положения, т. е. покажет бесконечно большое сопротивление (разрыв). Прозвонка коротких проводов производится следующим образом: конец от зажима *П* присоединяют к испытуемой жиле кабеля или провода, а другим концом от зажима *З* поочередно прикасаются к винтам сборки зажимов или концам проводов до тех пор, пока стрелка прибора не отклонится.

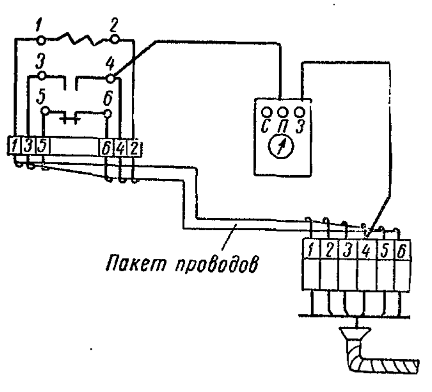


Рис. 288. Прозвонка коротких кабелей на панелях универсальным прозвоночным аппаратом

Отклонение стрелки прибора означает, что этот конец соответствует испытуемому проводу или жиле кабеля.

Все оборудование должно быть замаркировано, все условные надписи должны быть выполнены. Последовательность проверки цепей может зависеть от сложности схемы, территориального расположения оборудования, количественного состава бригады и некоторых других особенностей. Однако желательно придерживаться следующего порядка: а) проверка первичных цепей в полном объеме; б) проверка вторичных цепей в пределах диспетчерского щита, щита управления, панели защиты, станции управления, панели сигнализации, панели автоматики и т. д.; в) проверка внешних соединений вторичных цепей.

Преимущество такого порядка заключается в том, что наладчик в течение определенного промежутка времени сосредоточивает свое внимание на особенностях, присущих каждому участку.

Необходимо иметь в виду, что условные обозначения аппаратов в электрических схемах (ГОСТ 7624—55) показаны в положении, когда отсутствуют напряжение во всех цепях и механическое воздействие на аппараты; такое положение называется нормальным. Контакты аппаратуры управления, защиты, сигнализации и силовых цепей могут быть нормально закрытыми (НЗ) или нормально открытыми (НО).

Проверка сопротивления изоляции вторичных цепей. При приемо-сдаточных испытаниях производится измерение сопротивления изоляции вторичных цепей управ-

ления, защиты и измерения со всеми присоединенными аппаратами (катушки приводов, контакторы, реле, приборы, вторичные обмотки трансформаторов тока и напряжения и т. п.) и изоляции цепей возбуждения синхронных машин и их возбудителей со всеми присоединенными аппаратами (реостаты, автоматы и т. п.), но без обмоток синхронной машины и возбудителя.

Для измерения сопротивления изоляции вторичных цепей напряжением не выше 24—48 *в* должны применяться мегомметры только на напряжение не выше 500 *в*, а в остальных случаях — на 500 и 1000 *в*. Перед проверкой сопротивления изоляции аппаратов (управления, защиты. измерения и т. п.) зажимы и другие детали очищаются от пыли и загрязнения.

В случае необходимости производится сушка отсыревших деталей и электропроводки, подвергавшихся влиянию сырости в процессе монтажа.

При включении новой электроустановки сопротивление изоляции измерительных трансформаторов, реле, контрольной проводки, зажимов и контрольных кабелей измеряется по отношению к земле, между жилами или проводами, принадлежащими к одной и той же цепи, и между несвязанными цепями. При этом сопротивление изоляции измеряется по участкам (вторичные обмотки трансформаторов тока, контрольный кабель, панель защиты) и всему устройству в целом.

Диспетчерские щиты, пульты управления, панели телемеханики и другие электроустановки, где применена слаботочная аппаратура, следует испытывать мегомметрами на напряжение до 500 *в*, например типа М-163, М-154 и М-173. Если в установке содержатся элементы, которые могут при испытаниях повреждаться, как например конденсаторы, выпрямители, элементы слаботочной техники, то на это время их следует отключать или закорачивать.

Величина сопротивления изоляции вторичных цепей должна быть не менее: 10 *Мом* для шин постоянного тока и напряжения на щите управления; 1 *Мом* для каждого присоединения вторичных цепей и цепей питания; 1 *Мом* для цепей управления, защиты и возбуждения электромашин постоянного тока. Для измерения сопротивления изоляции шин постоянного тока необходимо отключить предохранители или рубильник со стороны питания и предохранители всех отходящих присоединений; присоединить мегомметр между минусовой шиной и «землей» и измерить сопротивление изоляции. Затем пересоединяют мегомметр и проверяют сопротивление изоляции плюсовой шины.

Места присоединения мегомметра при испытании им изоляции цепей трансформаторов тока и напряжения показаны на

рис. 289. Для измерения сопротивления изоляции шин трансформаторов напряжения в обесточенной установке вынимают предохранители *1П* и *2П* отдельных присоединений (предохранители *3П* остаются включенными, так как ПУЭ предписывают измерение производить совместно с вторичными обмотками трансформатора напряжения *ТН*), отсоединяют заземление *О* нулевой точки вторичной обмотки трансформатора напряжения *ТН*, присоединяют мегомметр в точке *3* и производят измерение. Изоляция вторичных цепей трансформатора напряжения *ТН* должна быть не менее 10 *Мом*.

Следует иметь в виду, что в цепях отдельных присоединений обычно достаточно измерить сопротивление изоляции од-

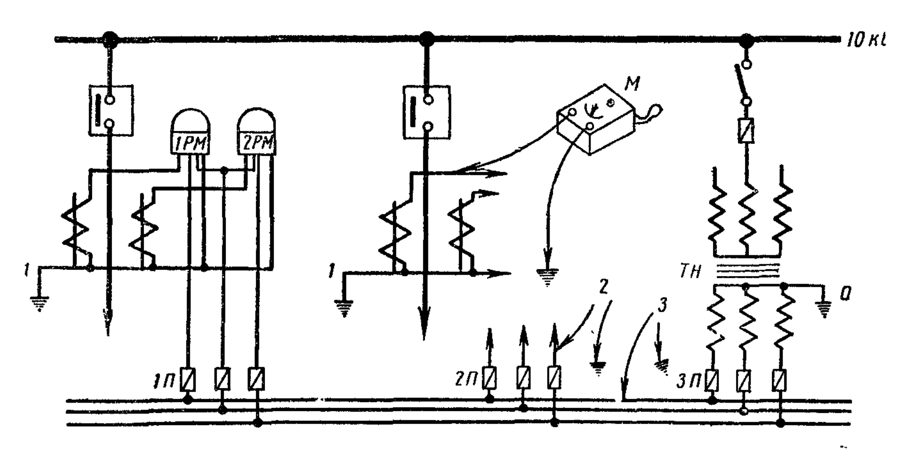


Рис. 289. Места присоединения мегомметра при испытании изоляции цепей трансформаторов тока и напряжения

ного полюса относительно земли, так как между полюсами могут быть соединения через нагрузку (лампы, реле и т. д.).

При измерении сопротивления изоляции трансформаторов тока с включенными вторичными обмотками, катушками реле, проводами и кабелями отсоединяют заземление *1* вторичных обмоток, присоединяют мегомметр и производят измерение. Для токовых цепей сопротивление изоляции каждого такого комплекта в полной схеме должно быть не ниже 1 *Мом*.

Для измерения сопротивления изоляции цепей напряжения защиты вынимают предохранители *2П* и присоединяют мегомметр в точке *2*. Для этих цепей сопротивление изоляции также должно быть не менее 1 *Мом*.

Между тем необходимо отметить, что величина сопротивления изоляции еще в полной мере не характеризует состояние изоляции вторичных цепей.

Известно, что при измерении сопротивления изоляции мегомметрами на 500 и 1000 *в* фактическое напряжение, воздействующее на изоляцию, примерно в 2 раза ниже из-за падения напряжения в самом мегомметре.

Испытание электрической прочности вторичных цепей повышенным напряжением. Кроме величины сопротивления изоляции, большое значение имеет также электрическая прочность изоляции, т. е. ее способность противостоять повышенным напряжениям. Таким испытаниям подвергается изоляция цепей управления защиты и измерений со всеми присоединенными аппаратами, рассчитанными на испы-

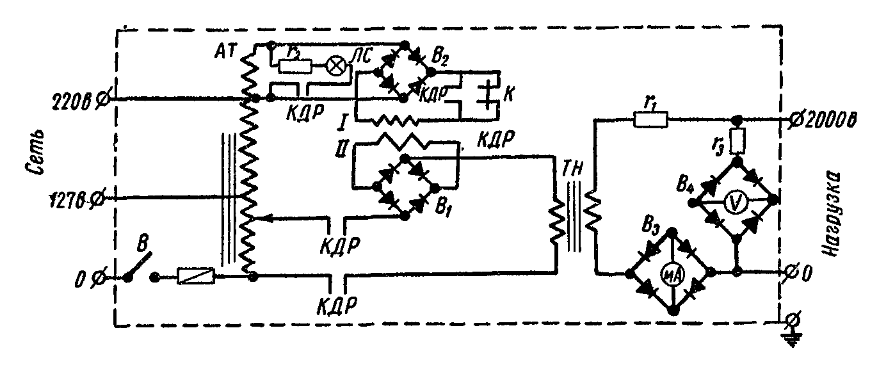


Рис. 290. Принципиальная схема установки ИВК

тательное напряжение 1000 *в* и выше промышленной частоты (обмотки электромагнитов приводов выключателей, реле, приборы, вторичные обмотки трансформаторов тока и т. п.); изоляция цепей возбуждения синхронных машин и их возбудителей со всеми присоединенными аппаратами (реостаты, автоматы и т. п.), но без обмоток синхронных машин.

Вторичные обмотки трансформаторов тока и напряжения испытываются в течение 1 *мин* совместно со вторичными цепями (управления, защиты и измерения), напряжением переменного тока 2000 *в* при вводе в эксплуатацию и напряжением 1000 *в* в эксплуатации.

Для испытания изоляции вторичных цепей повышенным напряжением в настоящее время применяют различные устройства. Ниже приводится описание переносной установки ИВК (рис. 290) для испытания изоляции цепей вторичной коммутации и аппаратов.

Напряжение подается от сети 127 или 220 *в* через выключатель *В* и предохранитель на автотрансформатор *АТ* типа ЛАТР-2, которым регулируется величина напряжения, подавае-

мого на испытательный трансформатор *ТН*. Цепь замыкается контактами реле *КДР*, которое имеет шунтовую обмотку *I* и сериесную *II*, включенные через селеновые выпрямители B_1 и B_2. При включении выключателя *В* шунтовая обмотка обтекается током и реле *КДР*, срабатывая, замыкает свои контакты. Последовательно с шунтовой обмоткой реле включен контакт *К*, установленный на рукоятке автотрансформатора *АТ*, который замыкается при установке рукоятки в крайнее положение (напряжение на выходе равно нулю). В случае пробоя изоляции испытываемого объекта увеличивается ток через сериесную обмотку, включенную встречно с шунтовой, и реле размыкает свои контакты, снимая напряжение с трансформатора. Сопротивление r_1 ограничивает величину тока короткого замыкания. Лампа *ЛС* сигнализирует положение реле *КДР*. Для измерения напряжения на выходе устройства установлен вольтметр *V*, а для измерения тока утечки — миллиамперметр *mA*. Они включены через выпрямители B_3 и B_4.

Кодовое реле КДР-1 выпускается на номинальные напряжения 24, 48, 110 и 220 *в*, с напряжением полного притяжения от 8,5 до 134 *в* и напряжением отпадания от 1,2 до 29,6 *в*, внешний вид которого показан на рис. 291.

Максимальное испытательное напряжение установки ИВК от 0 до 2000 *в*; наибольшая нагрузка 150 *ма*; номинальная мощность 250 *ва*; габаритные размеры 275×260×225 *мм*; вес установки 19,5 *кг*.

Переносное устройство, разработанное Отдѐлом автоматики, телемеханики и пусконаладочных работ института «Гидроэнергопроект», внешний вид которого представлен на рис. 292, обеспечивает максимальное испытательное напряжение переменного тока 2000 *в*. Напряжение питающей сети 127 или 220 *в*. Мощность испытательного трансформатора ТН 300 *ва*. Все элементы устройств размещены в металлическом корпусе размером 350×230×190 *мм*.

В качестве автотрансформатора используется ЛАТР-2. Высоковольтный вывод *ВН* испытательного трансформатора соединяется с испытуемым объектом с помощью специального высоковольтного штеккера, вставленного в особое гнездо высоковольтного переключателя. Со стороны панели отверстия для штеккера прикрыты откидной заслонкой, которая при работе ограждает руку оператора от случайного прикосновения к проводу штеккера. Рубильник безопасности *РБ* вынесен на лицевую сторону прибора и обеспечивает видимый разрыв в отключенном положении. В качестве промежуточных реле РП используется реле МКУ-48 и поляризованное реле РП-7. Наибольшая нагрузка при испытательном напряжении 1 *кв* — 300 *ма*, а при 2 *кв* — 150 *ма*. Милливольтметр имеет два предела измерения

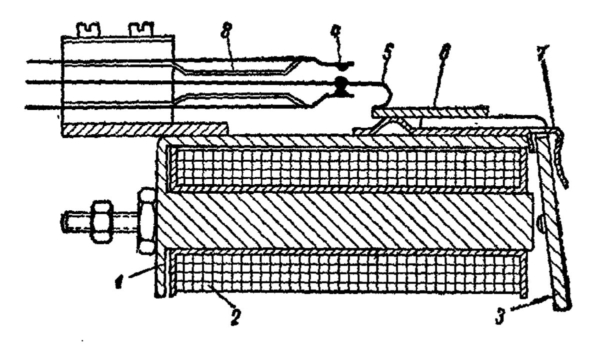


Рис. 291. Реле КДР-1:

1 — магнитопровод, *2* — обмотка, *3* — якорь, *4* — неподвижные контакты, *5* — подвижные контакты, *6* — изолирующая планка, *7* — упорная скоба, *8* — упорные пружины

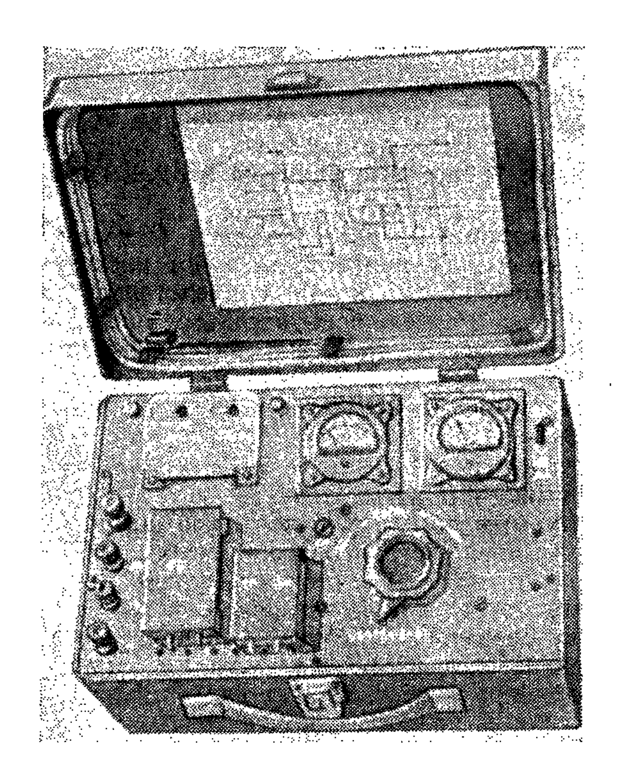


Рис. 292. Внешний вид переносного устройства для испытания изоляции цепей вторичной коммутации

100 и 500 *ма.* Максимальное испытательное напряжение переносного устройства контролируется киловольтметром.

Реле МКУ-48 постоянного тока имеет номинальное напряжение 12, 24, 48, 110 и 220 *в*, ток срабатывания от 0,0045 до 0,21 *а*. Реле МКУ-48 переменного тока соответственно — номинальное напряжение 110, 127 и 220 *в*, ток срабатывания от 0,0118 до 0,22 *а*. Внешний вид реле МКУ-48 показан на рис. 293.

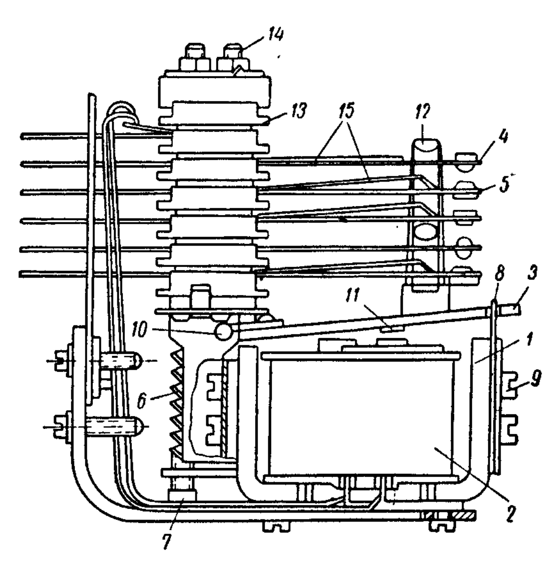


Рис. 293. Реле МКУ-48:

1 — магнитопровод, *2* — обмотка, *3* — якорь, *4* — контакты подвижпые, *5* — контакты неподвижные, *6* — возвратпая пружина, *7* — винт для натяжки возвратной пружины, *8* — упор якоря, *9* — вииты для креплеиия и регулнровки упора, *10* — ось якоря, *11* — медная прокладка иа якоре, *12* — изолирующая рамка для замыкания коитактов, *13* — изолирующне прокладки, *14* — винты для сборки иоитактов, *15* — упорные пружины

При отсутствии специальных испытательных устройств может быть рекомендована схема, показанная на рис. 294. В качестве трансформатора напряжения *ТН* следует применять специально изготовленный однофазный трансформатор 110/220/1500—2000 *в*. Поскольку зарядный ток редко превышает 250 *ма*, то номинальная мощность трансформатора порядка 200—300 *ва* достаточна. При отсутствии такого трансформатора может быть использован однофазный трансформатор напряжения, желательно с коэффициентом трансформации не выше 3000/100. Использовать трансформатор напряжения с большим

коэффициентом трансформации не рекомендуется из-за трудности регулирования напряжения.

Для измерения испытательного напряжения с высокой стороны используют вольтметр *V* с добавочным сопротивлением *ДС*. Измерение тока потребления испытуемой схемы производится миллиамперметром *mA*, зашунтированным нормально замкнутой кнопкой *К* или рубильником. Чтобы миллиамперметр не измерял тока потребления вольтметра, соизмеримого в ряде случаев с током утечки, вольтметр и добавочное сопротивление присоединяются параллельно обмотке трансформатора до миллиамперметра. Для исключения возможности пробоя

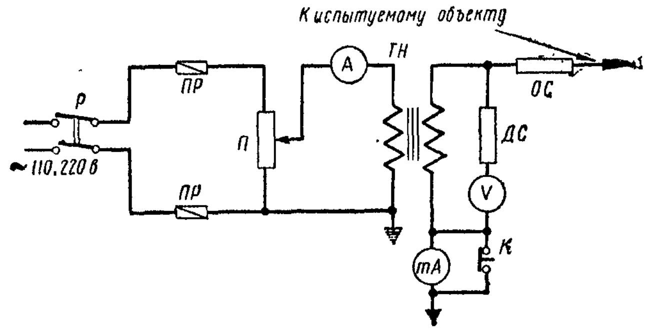


Рис. 294. Принципиальная схема испытательной установки:

ТН — трансформатор напряжения 110/1500 или 220/1500 *в*, *П* — потенциометр, *ОС* — ограничительное сопротивление, *ДС* — добавочное сопротивление, *Р* — рубильник двухполюсный, *К* — кнопка, *ПР* — предохранители

вольтметра высоким напряжением вольтметр включается со стороны заземленного вывода обмотки. Регулирование напряжения производят потенциометром *П*. Со стороны низшего напряжения должны быть установлены предохранители или автомат для отключения установки в случае пробоя изоляции на высокой стороне. Включение миллиамперметра и измерение тока в испытательной схеме производят периодически при подъеме напряжения и после достижения полного испытательного напряжения в течение всего времени испытания. Ограничительное сопротивление *ОС* выбирают порядка 1000 *ом*.

Как уже было сказано выше, до испытания во вторичной цепи снимают все заземления, отсоединяют вторичные обмотки трансформаторов напряжения, аккумуляторные батареи и прочие источники постоянного тока. Аппаратуру, приборы и отдельные детали реле и приборов с испытательным напряжением менее 1000 *в* отключают и полностью выводят из схемы. Вся остальная схема должна быть собрана: присоединены вто-

ричные обмотки трансформаторов тока, отключающие и включающие катушки выключателей, реле и измерительные приборы. После подготовки испытуемой схемы вторичных цепей к ней присоединяют испытательное устройство, напряжение плавно поднимают до 500 *в*, и если нет разрядов, пробоев, искр, то напряжение повышают далее до 1000—2000 *в* и через 1 *мин* плавно снижают до нуля. После испытания состояние изоляции повторно проверяют мегомметром, и если при напряжении 1000—2000 *в* не было скользящих разрядов, пробоев, резких толчков тока, а также если при повторном измерении мегомметром сопротивление изоляции не ухудшилось, то считается, что изоляция выдержала испытание.

При испытании электрической прочности изоляции вторичных цепей повышенным напряжением, если в испытуемой схеме имеются приборы и реле с обмотками тока и напряжения, близко расположенными и не соединенными между собой, то токовые обмотки таких приборов (при испытании цепей напряжения) должны быть отсоединены от цепей тока и соединены временными проводниками с обмотками напряжения, а обмотки напряжения этих приборов (при испытании токовых цепей) следует отсоединить от цепей напряжения и соединить с токовыми обмотками. Это необходимо, потому что изоляция между этими обмотками, обычно рассчитанная на испытательное напряжение 500 *в*, может быть перекрыта при наличии заземления в токовых цепях или в цепях напряжения. Имеющиеся в схеме конденсаторы и сухие выпрямители следует закоротить во избежание их повреждения. Стабилизаторы напряжения или электронные лампы с подогреваемым катодом, не соединенным с нитью накала, не должны подвергаться этим испытаниям; промежуточные трансформаторы необходимо закоротить и соединить между собой их обмотки.

В виде исключения, при отсутствии испытательной установки переменного тока испытание изоляции вторичных цепей производят мегомметром на напряжение 2500 *в*.

При выполнении испытаний вторичных цепей следует соблюдать требования правил техники безопасности.

Отыскание мест повреждений во вторичных цепях. Для отыскания «земли» и других повреждений следует отключать поочередно отдельные участки схемы и проверять их по отношению к земле мегомметром, вольтметром, неоновой лампой или переносным индикатором ТИ-2.

Проверку «земли» можно производить при поданном на схему напряжении, для чего сначала включается предохранитель в цепи «плюс» и вольтметром или переносным индикатором ТИ-2 проверяются цепи на землю; затем включается предохранитель в цепи «минус» и производится повторная проверка.

Для определения короткого замыкания в схеме управления и сигнализации последовательно с предохранителями «плюс» присоединяют контрольную лампу и подают напряжение на схему, если при этом лампа горит, то в схеме имеется короткое замыкание; вместо предохранителя «плюс» можно установить тонкую медную проволочку заведомо меньшего сечения, чем плавкая вставка предохранителя и включают напряжение, при этом перегорание проволочки укажет на наличие короткого замыкания. Определение короткого замыкания в схеме является первой и важной операцией проверки перед подачей напряжения на схему цепей сигнализации. Если обнаружено короткое замыкание в схеме, то его следует устранить.

После поэлементной проверки цепей сигнализации устанавливаются все приборы, сигнальные лампы, звонок и сирена, затем подается номинальное напряжение и производится комплексное опробование схемы, вначале искусственным замыканием сигнальных реле от руки, а затем от ключа управления и релейной защиты; проверяется соответствие приемных сигналов предупреждения и аварийного и выпадание блинкеров (сигнальных реле) согласно проектной схемы. Действие сигнальной аппаратуры должно быть проверено также при пониженном напряжении, равным 80% номинального напряжения.

§ 2. ПРОВЕРКА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

При пусконаладочных работах проверяются все измерительные трансформаторы тока и напряжения, к которым присоединяются реле защиты и другие измерительные приборы. При проверке производятся:

а) у трансформаторов тока — измерение сопротивления изоляции, испытание прочности изоляции, определение коэффициента трансформации, проверка полярности обмоток и снятие характеристики намагничивания (вольтамперной характеристики);

б) у трансформаторов напряжения — измерение сопротивления изоляции, испытание прочности изоляции, проверка полярности обмоток для однофазных трансформаторов и группы соединения для трехфазных трансформаторов, определение коэффициента трансформации и тока холостого хода.

Целость витков вторичной обмотки трансформатора тока проверяется мегомметром по схеме, приведенной на рис. 237. Если в обмотке нет обрыва витков, то стрелка прибора при вращении его рукоятки отклонится на всю шкалу, при обрыве обмотки стрелка останется на нулевом делении шкалы. Величина сопротивления изоляции вторичных обмоток трансформаторов тока, измеренная мегомметром на напряжение 1000 *в* по схемам, приведенным на рис. 237, не должна быть ниже 1 *Мом.*

Для первичных обмоток величина сопротивления изоляции не нормируется, однако она не должна быть ниже 20—25 *Мом* при измерении мегомметром на напряжение 1000—2500 *в*.

Изоляция первичных обмоток измерительных трансформаторов тока и напряжения подвергается испытанию на электрическую прочность согласно ГОСТ 1516—60.

При испытании изоляции на электрическую прочность испытательное напряжение должно быть приложено между токоведущими и заземленными частями согласно схеме, показанной на рис. 235. Полярность обмоток трансформаторов тока определяют по схеме, показанной на рис. 369.

Методы определения группы соединения трехфазных трансформаторов напряжения изложены в главе четвертой (рис. 187).

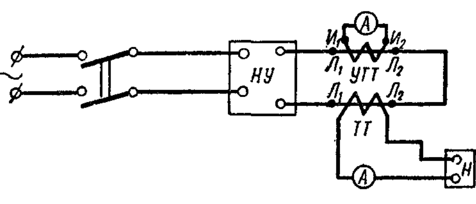


Рис. 295. Принципиальная схема проверки коэффициента трансформации трансформаторов тока:

$Л_1$ и $Л_2$ — начало и конец первичной обмотки трансформатора тока, $И_1$ и $И_2$ — начало и конец вторичной обмотки трансформатора тока

Проверку коэффициента трансформации трансформаторов тока в обычных условиях производят по схеме, изображенной на рис. 295. Эту проверку необходимо производить с присоединенной нагрузкой на вторичной обмотке испытуемого трансформатора тока *Н*. Нагрузочным устройством *НУ* может служить при малых первичных токах автотрансформатор ЛАТР или понижающий трансформатор ТБ, а при больших токах — сварочный трансформатор, водяной реостат или специальный нагрузочный трансформатор. Проверка производится путем сопоставления показаний амперметра, присоединенного к контрольному лабораторному трансформатору тока УТТ с показаниями амперметра, присоединенного к испытуемому трансформатору тока *ТТ*. Ток в первичной обмотке $Л_1Л_2$ испытуемого трансформатора *ТТ* определяется умножением показания амперметра на коэффициент трансформации трансформатора тока.

Для проверки достаточно определить 3—5 показаний: в начале шкалы, в середине шкалы и в пределах номинального вторичного тока (около 5 *а*).

Отношение $\frac{I_1}{I_2}$ есть действительный коэффициент трансформации, где I_1 и I_2 — первичный и вторичный токи по данным испытания.

Описание более точной проверки измерительных трансформаторов тока с целью определения их погрешности приведено в главе восьмой.

Определение коэффициента трансформации и тока холостого хода, проверка группы соединения обмоток трехфазных измерительных трансформаторов напряжения производятся в обычных условиях так же, как и для силовых трансформаторов (см. гл. четвертую, § 1 и 3), а для более точного определения их погрешностей — методами, приведенными в главе восьмой.

Проверка полярности обмоток однофазных трансформаторов напряжения производится по схеме рис. 296, при этом батарею *1* напряжением 2—4 *в* включают в цепь обмотки высшего напряжения *3*, а прибор *5* — в цепь обмотки *4* низшего напряжения, соблюдая полярность, обозначенную на схеме.

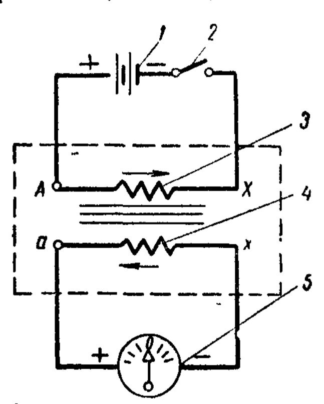


Рис. 296. Схема проверки полярности обмоток однофазных трансформаторов напряжения

При замыкании рубильника *2* в случае правильного обозначения зажимов стрелка прибора кратковременно отклонится вправо, а при отключении цепи — влево. Это свидетельствует о правильно выполненной маркировке зажимов трансформаторов напряжения. В противном случае концы обмоток следует перемаркировать, так как они присоединены к выводам неправильно.

При проверке полярности обмоток трехфазных трансформаторов напряжения источник тока присоединяют поочередно к различным зажимам обмотки *ВН*, а прибор (гальванометр) — к различным зажимам обмотки *НН*. Во всех случаях стрелка прибора должна отклоняться вправо, что будет свидетельствовать о правильности маркировки. При других результатах необходима перемаркировка зажимов.

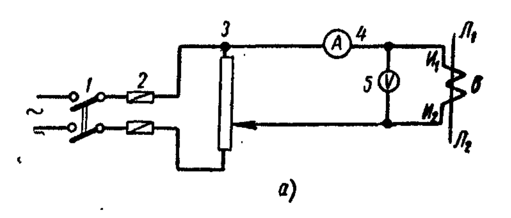
В лабораторной практике поверка трансформатора тока и напряжения, как правило, производится на аппаратах АТТ или АИТ.

Зависимость тока во вторичной обмотке трансформатора тока от приложенного напряжения к зажимам этой обмотки называется вольтамперной характеристикой или характеристикой намагничивания. Вольтамперная характеристика дает возможность подобрать комплект трансформаторов тока для специальных защит; определить допустимую нагрузку на трансформаторы тока; установить наличие витковых замыканий во вторичной обмотке; помочь наладке сложных защит и др.

Для снятия вольтамперной характеристики (характеристики намагничивания) трансформатора тока собирается схема согласно рис. 297. *а*. При снятии характеристики следует измерить 10—12 точек отсчета по приборам, медленно поднимая

напряжение при помощи потенциометра *3* или автотрансформатора. На рис. 297, *б* показаны вольтамперные характеристики.

Для трансформаторов низкого класса точности и с малыми коэффициентами трансформации характеристика снимается до насыщения, т. е. до таких значений тока (не более 10 *а*), при которых дальнейшее его увеличение не приводит к увеличению напряжения. Для трансформаторов высокого класса точности и с большими коэффициентами трансформации характеристика снимается до напряжения 220—250 *в*.



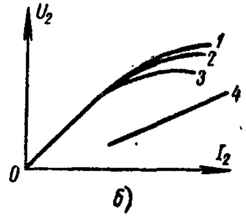


Рис. 297. Снятие вольтамперных характеристик трансформаторов тока:

а — схема: *1* — рубильник, *2* — предохранители, *3* — потенциометр, *4* — амперметр (миллиамперметр) астатической или электродинамической системы класса точности не ниже 0,5—1 с малым внутренним сопротивлением, *5* — вольтметр той же системы и того же класса точности, *6* — испытуемый трансформатор тока; *б* — характеристики: *1*, *2*, *3* — исправных трансформаторов тока, *4* — трансформатор тока с витковым замыканием во вторичной обмотке

Перед проверкой характеристики намагничивания и после нее производится размагничивание сердечника путем двух- или трехкратных плавных подъемов и снижений напряжения до нуля на вторичной обмотке. В случае необходимости переключения пределов измерительных приборов напряжение плавно снижается до нуля.

При этой схеме включения определяется также фактическая нагрузка на трансформаторы тока, зная которую по характеристике намагничивания проверяют пригодность трансформатора тока для работы в данной схеме при действительных токах короткого замыкания.

§ 3. ПРОВЕРКА И НАЛАДКА ИСТОЧНИКОВ И СХЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТОЯННОГО ТОКА

Оперативный постоянный ток. В электроустановках широкое и почти повсеместное распространение в течение многих лет получил оперативный постоянный ток. Наладка системы оперативного постоянного тока включает: источники постоянного тока — кислотную (реже щелочную) аккумулятор-

ную батарею, их зарядные и подзарядные агрегаты (двигатель-генераторы, селеновые или купроксные выпрямители и др.), сеть оперативного постоянного тока с панелями управления и сигнализации, устройствами защиты и т. д.

Проверка аккумуляторной батареи. Каждая новая кислотная аккумуляторная батарея, наряду с другим электрооборудованием вновь вводимой электроустановки, подвергается приемо-сдаточным испытаниям.

Проверка емкости батареи производится трехчасовым или одночасовым разрядом. Измеренная емкость кислотных аккумуляторов, приведенная к средней температуре электролита 25°, должна соответствовать номинальной емкости, гарантированной заводом-изготовителем. Плотность электролита в начале разряда, измеренная ареометром, должна быть равна 1,21. Поэтому в конце заряда батареи, предшествующего проверочному разряду, плотность электролита во всех элементах доводится до 1,21.

Электролит приготовляют из аккумуляторной кислоты, соответствующей ГОСТ 667—53. Между осадком (шламом) и нижним краем положительных пластин должно быть свободное пространство не менее 10 *мм*. Проверочный разряд можно производить и при температуре электролита, отличной от 25°. В этом случае полученная фактическая емкость приводится к номинальной емкости по формуле

$$C_{25} = \frac{C_ф}{1 + 0{,}008\,(t_ф - 25)},$$

где C_{25} — номинальная емкость при 25°, *а·ч*;

$C_ф$ — фактическая емкость батареи, полученная при разряде, *а·ч*;

$t_ф$ — фактическая средняя температура электролита во время разряда, *град*;

0,008 — температурный коэффициент емкости.

При необходимости проверочный разряд производится при любом постоянном режиме в пределах 1÷10 *час*. Однако нельзя изменять выбранный режим в процессе самого проверочного разряда. Номинальная емкость аккумуляторов дается для одно-, двух-, трех-, пяти- или десятичасового разряда. Основной характеристикой аккумулятора является его емкость Q, т. е. то количество электроэнергии в ампер-часах, которое можно получить от аккумулятора при разряде его до некоторого наименьшего допускаемого напряжения.

$$Q = I_р \cdot t_р,$$

где $I_р$ — разрядный ток, *а*;

$t_р$ — время разряда, *час*.

Проверочный разряд продолжается до тех пор, пока батарея не отдаст номинальной емкости, соответствующей данному режиму разряда. Напряжение при этом не должно опускаться ниже 1,75—1,8 *в* на элемент при 3—10-часовом разряде; при разряде длительностью более 10 *час* — 1,9 *в*.

Для проверки напряжения на зажимах элементов батареи применяется переносный аккумуляторный пробник АП с вольтметром на 0—3 *в* (рис. 298, *а*).

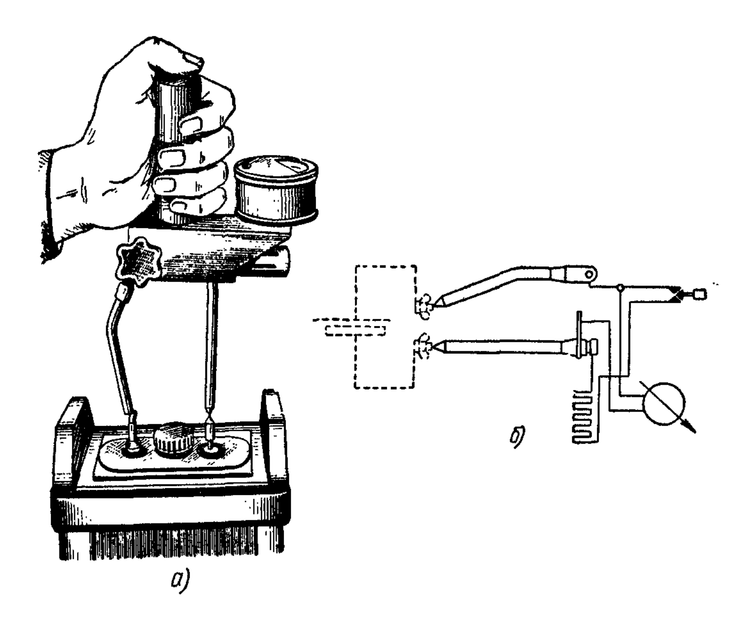


Рис. 298. Аккумуляторный пробник АП:
а — внешний вид прибора, *б* — принципиальная схема

Для измерения напряжения аккумулятора применяют схему, показанную на рис. 298, *б*. Напряжение $U_р$ на зажимах аккумулятора (элемента) в вольтах в процессе разряда может также определяться по формуле

$$U_р = E - I_р \cdot r_в,$$

где E — э. д. с. аккумулятора (элемент), *в*;

$I_р$ — разрядный ток, *а*;

$r_в$ — внутреннее сопротивление аккумулятора, *ом*.

Наличие примесей в электролите резко снижает срок службы аккумуляторов, поэтому электролит подвергают химическо-

му анализу. Пробу для анализа берут из разряженного аккумулятора, так как в это время большинство примесей находится в электролите. Для проверки отсутствия коротких замыканий в элементах следует проверить в конце заряда плотность электролита во всех элементах. Пониженная плотность в конце проверочного разряда позволяет обнаружить элементы с пониженной емкостью, плотность электролита которых значительно ниже плотности электролита исправных элементов.

Сопротивление изоляции аккумуляторной батареи определяется методом вольтметра по измерениям напряжения между плюсом батареи и землей и между минусом батареи и землей. Измерения производят при полностью отключенных цепях нагрузки и отключенном зарядном агрегате. Численно сопротивление изоляции равно:

$$R_{изол} = r_{вн}\left(\frac{U_п}{U_1 + U_2} - 1\right),$$

где $R_{изол}$ — общее сопротивление изоляции относительно земли, *ом;*

$r_{вн}$ — внутреннее сопротивление вольтметра, *ом*;

$U_п$ — напряжение покоя батареи, *в*;

U_1 — напряжение между плюсом батареи и землей, *в*;

U_2 — напряжение между минусом батареи и землей, *в*.

Вновь смонтированные кислотные батареи должны иметь сопротивление изоляции не менее 50 *ком* при 110 *в* и 100 *ком* при 230 *в*.

Для определения исправности батареи измеряют напряжение каждого элемента и плотность электролита в конце заряда и разряда. Кроме того, проверяют отсутствие коробления и сульфатации пластин. Напряжение отстающих элементов в конце разряда (их должно быть не более 5% общего количества) не должно отличаться более чем на 1—1,5% от среднего напряжения остальных элементов.

От исправного действия приточно-вытяжной вентиляции зависит безопасность эксплуатации аккумуляторных батарей, поэтому работа вентиляционных устройств должна также тщательно проверяться. Наилучшим способом проверки является измерение притока чистого воздуха, объем которого должен быть равен:

$$V = 0{,}07 \cdot I_{зар} \cdot n,$$

где V — объем воздуха, *м³/час*;

$I_{зар}$ — максимальный зарядный ток, *а*;

n — число элементов в батарее.

В случае несоответствия притока воздуха расчетному необходимо в первую очередь проверить правильность установки ротора вытяжного вентилятора и отсутствие утечек по тракту.

Учитывая, что пары серной кислоты тяжелее воздуха и скапливаются в основном внизу помещения, а водород под потолком, отсос газов должен производиться как из верхней, так и из нижней части помещения. В соответствии с действующими нормами стационарные аккумуляторные батареи устанавливаются в специальных изолированных вентилируемых помещениях, где стены окрашены темной кислотоупорной краской, а окна — матовой.

§ 4. НАЛАДКА ЦЕПЕЙ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТОЯННОГО ТОКА

При приемо-сдаточных испытаниях и наладке производится тщательная проверка работы батареи в запроектированном режиме: режим заряд — разряд и режим постоянного подзаряда.

Режим заряд — разряд (рис. 299) характерен периодичностью разрядов и зарядов батареи. Работающая по этому способу аккумуляторная батарея сравнительно долго (1—2 суток и даже более) разгружается, питая нагрузку, состоящую из постоянно включенных сигнальных ламп, приборов сигнализации, указательных реле, электромагнитов, контакторов и т. д. При этом зарядное устройство батареи отключено. Эта же батарея питает кратковременную нагрузку (электромагниты включения и отключения приводов выключателей и т. п.), а также в аварийных случаях на электростанциях или подстанциях — аварийное освещение, некоторые электродвигатели постоянного тока и т. д. Так как авария на стороне переменного тока установки возможна при любой степени разряда батареи, то батарея в эксплуатации не должна разряжаться полностью (только до 60—70%). При использовании батареи в этом режиме приходится достаточно часто заряжать аккумуляторную батарею (обычно через двое суток), что приводит к сравнительно быстрому износу пластин, теряющих часть активной массы при каждом заряде. Частые заряды усложняют также эксплуатацию аккумуляторной установки.

При эксплуатации аккумуляторной батареи в режиме заряд — разряд напряжение на зажимах аккумуляторов не остается постоянным, а изменяется при разряде в пределах от 2,1 до 1,75—1,8 *в*, а при заряде от 2,1 до 2,6—2,7 *в*. В то же время напряжение на сборных шинах установки постоянного тока во всех режимах должно оставаться постоянным. Достигается это при помощи так называемого элементного коммутатора, служащего для изменения числа последовательно включенных аккумуляторов, присоединенных к сборным шинам установки или к зарядному агрегату. На рис. 299 приведена схема установки постоянного тока с аккумуляторной батареей, работаю-

щей в режиме заряд — разряд и снабженной двойным элементным коммутатором. Для контроля режима заряд — разряд батареи устанавливается амперметр с двухсторонней шкалой. Нагрузка зарядного агрегата также контролируется амперметром.

Режим постоянного подзаряда (рис. 300) характеризуется постоянной работой зарядного агрегата, который питает все электроприемники сети постоянного тока и все время подзаряжает батарею, работая параллельно с ней. В этом случае аккумуляторная батарея постоянно присоединена к зарядному генератору, а ее подзарядный ток достаточен для компенсации саморазряда аккумуляторов, благодаря чему батарея всегда оказывается полностью заряженной. При исчезновении переменного тока зарядный агрегат отключается, аккумуляторная батарея переходит в режим разряда и принимает на себя всю нагрузку сети постоянного тока. После восстановления питания переменным током пускается зарядный агрегат, который заряжает батарею и вновь начинает питать все электроприемники постоянного тока. Когда батарея зарядится, ее переводят в нормальный режим подзаряда.

Таким образом, при использовании батареи в режиме постоянного подзаряда она всегда полностью заряжена и разряжается только при авариях, в случаях перерыва питания переменным током данной установки. Благодаря своим достоинствам режим постоянного подзаряда аккумуляторных батарей получил преимущественное применение на отечественных электростанциях и подстанциях.

При потере переменного тока во время заряда или подзаряда аккумуляторной батареи электродвигатель зарядного агрегата останавливается, а генератор постоянного тока переходит в двигательный режим за счет тока, поступающего от аккумуляторной батареи, что приводит к ее быстрому разряду. Во избежание этого на зарядном и подзарядном агрегатах устанавливают автоматический выключатель максимального обратного тока *АТ*, оключающий их при переходе генератора на двигательный режим. Одновременно этот выключатель служит для защиты от коротких замыканий в генераторе (рис. 229 и 300).

Для контроля напряжения на зарядном агрегате и аккумуляторной батарее устанавливают вольтметр V_1 с переключателем (рис. 299). С их помощью измеряется напряжение между точками *1—1*, *2—2*, *3—3*.

При наличии двух аккумуляторных батарей каждая из них работает на собственные сборные шины. Отходящие от шин цепи постоянного тока снабжаются переключателями, позволяющими переключать цепь с одной системы шин на другую.

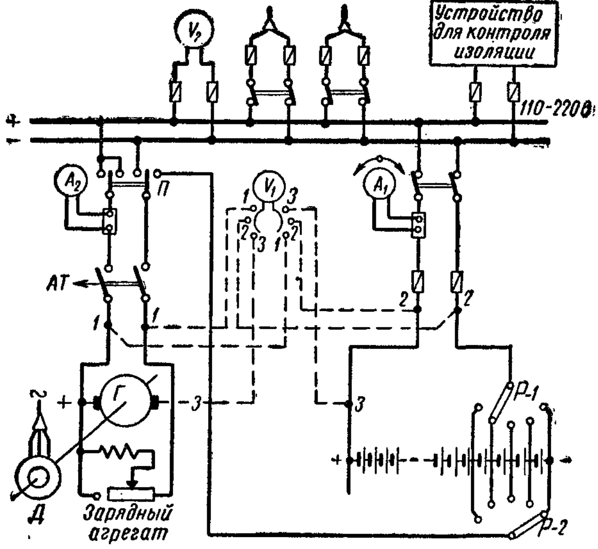


Рис. 299. Схема аккумуляторной установки, работающей в режиме заряд — разряд с двойным элементным коммутатором:

АТ — автомат максимального тока с реле обратного тока, *Р-1* — ручка двойного элементного коммутатора для заряда, *Р-2* — то же, для разряда, A_1 — амперметр с двухсторонней шкалой в цепи аккумуляторной батареи, *П* — переключатель на два положения, *Д* — асинхронный двигатель зарядного агрегата, V_1 — вольтметр с переключением, V_2 — вольтметр для контроля напряжения на шинах батареи, *Г* — генератор постоянного тока

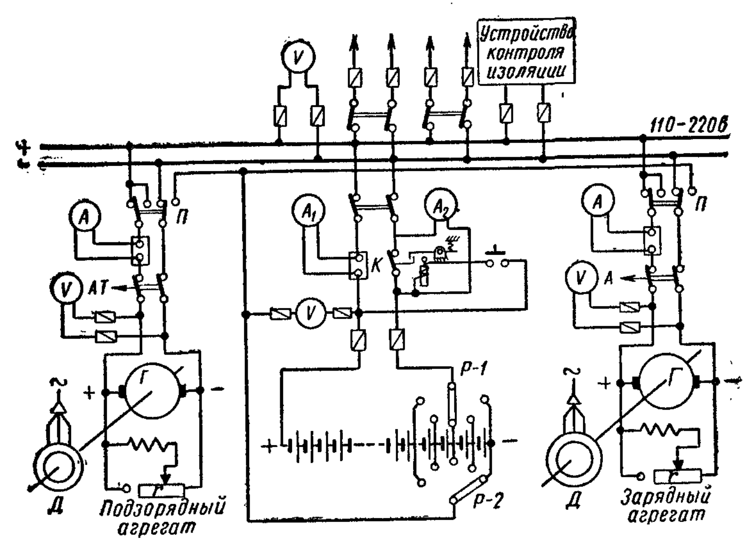


Рис. 300. Схема аккумуляторной батареи, работающей в режиме постоянного подзаряда с двойным элементным коммутатором

Схема соединений установки постоянного тока с двумя батареями, работающими нормально в режиме постоянного подзаряда, показана на рис. 301.

В этом случае объем приемно-сдаточных испытаний значительно расширяется, так как каждая из батарей должна быть проверена в совместной работе как со своим подзарядным агрегатом, так и с зарядным агрегатом, обслуживающим обе батареи.

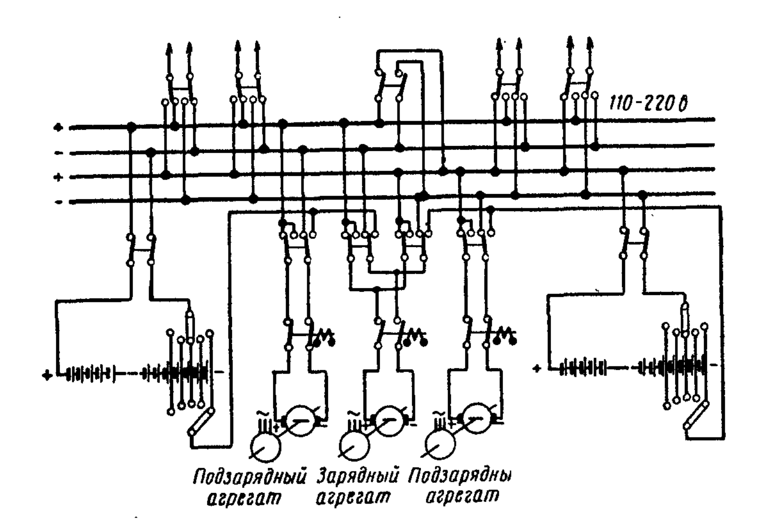


Рис. 301. Схема соединения установки постоянного тока с двумя аккумуляторными батареями, работающими в режиме постоянного подразряда

При возникновении замыканий на землю, в особенности двойных замыканий в системе оперативного постоянного тока, возможны самопроизвольные включения или отключения выключателей генераторов, трансформаторов и других важнейших первичных присоединений. Во избежание этого необходимо поддерживать изоляцию системы постоянного тока на уровне, исключающем возможность возникновения замыканий на землю.

Правила технической эксплуатации требуют, чтобы сопротивление изоляции вторичных цепей относительно земли, измеренное мегомметром на напряжение 500—1000 *в*, было не менее 1 *Мом* для каждого присоединения. Снижение сопротивления изоляции одного из полюсов сети оперативного постоянного тока до 6—10 *ком* в сети 110 *в* и до 15—20 *ком* в сети 220 *в* принято считать недопустимым.

Сети оперативного постоянного тока должны быть оборудованы специальным устройством для непрерывного контроля состояния изоляции. Такое устройство (рис. 302) при снижении сопротивления изоляции до аварийного дает сигнал. Оно состоит из двух реостатов *R*, потенциометра *П* со шкалами коэффициентов *К*, двухполюсного переключателя *М*, сигнального реле *РС* и магнитоэлектрического вольтметра *V* со шкалами, градуированными в килоомах и вольтах. Потенциометр и оба

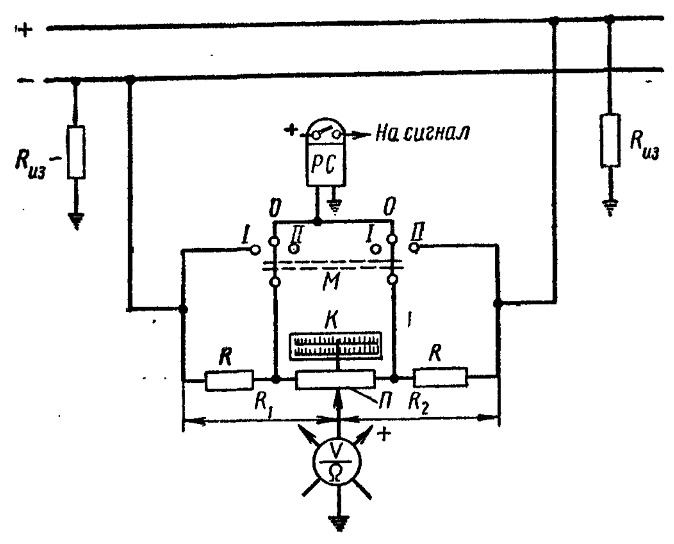


Рис. 302. Схема непрерывного контроля изоляции сети постоянного тока

реостата имеют одинаковое сопротивление порядка 1000 *ом*. Вольтметр имеет двухстороннюю шкалу (нулевое положение стрелки в середине шкалы).

Нормально переключатель находится в среднем положении *О*. При этом реле включается между нейтральной точкой сети, образуемой сопротивлениями *R* и землей. Вольтметр включается через сопротивление потенциометра параллельно реле. При таком включении реле и вольтметра они реагируют на несимметричное снижение сопротивления изоляции каждого из полюсов сети. Для контроля состояния изоляции шин переключатель переводится в положение *I* (шина минус) и положение *II* (шина плюс); для этого используются присоединенные к шинам сопротивления $R_{из}$.

Действие сигнального устройства только при несимметричном снижении сопротивлений изоляции является достаточным, так как при замыканиях на землю в сети оперативного тока,

как правило, снижается сопротивление изоляции лишь одного полюса. В нормальных условиях сопротивления R_1 и R_2 практически равны.

Правила технической эксплуатации требуют, чтобы схема питания электроприемников обеспечивала возможность переключений с одной системы шин или секции на другую без нарушения бесперебойности питания. Отсутствие постоянного тока в оперативных цепях приводит к отказам в действии защиты и дистанционного управления. При возникновении аварии это ведет к затяжке ее ликвидации и к увеличению аварийных разрушений. Поэтому должны быть проверены все без исключения участки питания постоянным током цепей защиты и управления со своими зажимами, предохранителями, рубильниками, автоматами, шинами и т. д.

Наладка цепей оперативного постоянного тока ведется в том же порядке, что и цепей релейной защиты, автоматики и вторичных цепей.

§ 5. ВЫБОР ПЛАВКИХ ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ

Выбирая сечение проводников в соответствии с действующими ПУЭ, необходимо исходить из того, что величина плавкой вставки предохранителя задана режимом работы установки или электроприемника и изменению не подлежит.

Для приближения к условиям надежной защиты сетей от нагрева выше допустимого согласно ПУЭ необходимо всегда выбирать наименьшую из плавких вставок, способных обеспечить бесперебойную эксплуатацию.

Наименьшая плавкая вставка, способная при данном режиме работы длительно обеспечить бесперебойную эксплуатацию, должна удовлетворять следующим условиям:

предохранитель в условиях нормальной эксплуатации не должен перегреваться сверх допустимых для него температур. Для этого необходимо выбрать предохранитель с таким патроном и такой плавкой вставкой, чтобы их номинальные токи были равны или немного больше расчетного тока линии;

предохранитель не должен отключать линию при перегрузках, свойственных нормальной эксплуатации, например при пусковых токах. Для этого необходимо выбрать плавкую вставку, которая при этих токах не нагревалась бы чрезмерно. Практикой установлено приближенное правило, согласно которому длительная спокойная, без ложных отключений эксплуатация плавкого предохранителя возможна в том случае, если пусковые токи ($I_п$) находятся в следующей зависимости от тока срабатывания ($I_{ср}$) вставки $I_п \approx 0{,}5\ I_{ср}$.

Ток срабатывания определяется по защитной характеристике. Например, известно, что пик нагрузки или пусковой ток

длится немного более 1 *сек.* Из рис. 303, где приведены защитные характеристики плавких вставок, предохранителей серии ПН2, находим, что ток, способный расплавить вставку 30—100 *а* за 1 *сек*, приблизительно в 5 раз больше номинального тока вставки $I_{ср} \approx 5I_в$. На основании указанного правила получаем $I_п \approx 0,5\ I_{ср} \approx 0,5 \cdot 5 \cdot I_в \approx 2,5\ I_{вст}$. Иначе говоря, в этих случаях ток вставки должен быть примерно равен $I_{вст} \approx \frac{I_п}{2,5}$.

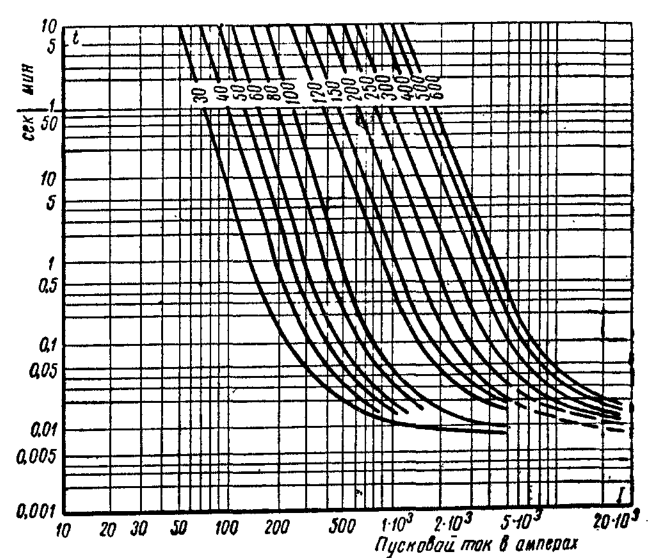


Рис. 303. Семейство защитных характеристик плавких вставок предохранителей ПН2

В практике, когда не располагают ни точным знанием длительности разгона или графиком работы установки, ни точной защитной характеристикой предохранителя, принято руководствоваться следующим:

а) для защиты ответвлений к одиночным электродвигателям при небольшой частоте и длительности пусков, как например у металлообрабатывающих станков и им подобных механизмов:

$$I_{вст} \approx \frac{I_п}{2,5},$$

а при большой частоте пусков или при большой их длительности, как например у электродвигателей кранов и других механизмов повторно-кратковременного режима работы или у таких механизмов, как центрифуги, которые очень медленно набирают скорость:

$$I_{вст} \approx \frac{I_п}{(1,6-2,0)};$$

б) для защиты линий, питающих более одного электродвигателя, если известен расчетный ток линий $I_р$ и пусковой ток $I_п$ того электродвигателя, у которого он больше других:

$$I_{вст} \approx \frac{I_р + I_п}{2,5}.$$

Плавкие вставки, выбранные по вышеуказанным формулам, в большинстве случаев обладают большим запасом прочности. Например, номинальный ток электродвигателя $I_{дв}=25$ *а*, его пусковой ток $I_п=150$ *а*, тогда плавкая вставка $I_{вст}=150:2,5=$ $=60$ *а*. Во время пуска вставка будет нести перегрузку, превышающую ее номинальный ток в 2,5 раза. Из рис. 303 видно, что при такой перегрузке вставка могла бы расплавиться примерно за 1 *мин* (60 *сек*). Это примерно в 40 раз больше, чем обычная длительность пускового тока у электродвигателей металлообрабатывающих станков.

Предохранитель должен отключать линию при появлении опасных для нее токов короткого замыкания в минимальное время, но по возможности селективно, т. е. чтобы в первую очередь отключалось дефектное ответвление, а основная неповрежденная линия оставалась в работе. Для этого необходимо, чтобы при одинаковом токе короткого замыкания фактическое время отключения большего предохранителя ($t_{ф.б}$), защищающего основную линию, было бы больше фактического времени отключения меньшего предохранителя ($t_{ф.м}$), защищающего ответвление.

Для получения селективности необходимо, чтобы время отключения, определенное по защитной характеристике большего предохранителя, превышало более чем в три раза время отключения характеристики меньшего предохранителя.

Глава седьмая

ИСПЫТАНИЕ И НАЛАДКА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ, КОНТАКТОРНО-РЕЛЕЙНОЙ АППАРАТУРЫ И УСТРОЙСТВ АВТОМАТИКИ

§ 1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Важнейшим условием, обеспечивающим надежную работу защиты, является высококачественная проверка исправности аппаратуры и цепей, правильности схем, уставок и характеристик защиты. При этом надо иметь в виду, что существует большое количество разнообразных типов реле и схем защиты, наладка которых требует высококвалифицированной теоретической и практической подготовки.

Приведенные ниже сведения касаются описания и методов проверки наиболее распространенных типов реле, из которых во многих случаях составляются несложные схемы защиты электроустановок. Учитывая назначение данного учебного пособия, далее будут изложены только основные сведения по ограниченному кругу вопросов релейной защиты, которые могут помочь молодому рабочему сознательно участвовать в наладочных работах в соответствии с его квалификацией.

§ 2. ПРОВЕРКА МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ РЕЛЕ

Описание реле и общие указания по их проверке и регулировке. Надежность работы реле и устойчивость их электрических характеристик во многом зависят от исправности и правильности регулировки механической части. Поэтому все реле при установке подвергаются тщательному осмотру.

При внешнем и внутреннем осмотре проверяются наличие пломб; исправность кожуха, его крепления к цоколю и уплотнения между цоколем и кожухом; исправность и качество

уплотнения стекла в кожухе; состояние выводов реле; исправность резьбы винтов и втулок; целость головок винтов и шлицев, граней гаек и концов шпилек; наличие шайб и контргаек.

Проверку механизма реле обычно начинают с тщательной очистки от пыли и грязи. Особое внимание обращается на наличие металлических опилок и стружек на магнитопроводе, якоре и в зазоре между якорем и сердечником. Легким подергиванием и осмотром проверяется надежность всех гаек, затяжка винтов и гаек, крепящих проводники, пружины.

У реле с гибкими многопроволочными токоподводами следует установить отсутствие оборванных проволочек и надломов в пайках, а также правильный ход подвижных систем реле, возврат их в исходное положение, отсутствие заедания в подшипниках, подпятниках, успокоителях и т. п. Необходимо убедиться в четкости работы часовых механизмов реле времени; креплении отдельных деталей в реле и вспомогательных устройствах и крепление самих реле и вспомогательных устройств к панели.

У газового реле проверяются отсутствие течи из кранов маслопровода, кранов на крышке реле и спускного, целость стекла смотрового окна и плотность его прилегания, исправность выводов от контактных соединений, а также наличие всех крепежных болтов, надписей и обозначений на крышке реле и стрелки, указывающей направление от бака трансформатора к расширителю.

Рассмотрим конструкции и основные требования к механической части наиболее распространенных реле и элементы проверки их основных узлов.

Мгновенные реле тока и напряжения серий ЭТ-520 и ЭН-520. Выпускаемые отечественной промышленностью электромеханические реле тока и напряжения мгновенного действия серий ЭТ-520, ЭН-520 и ЭТД-550, а также ранее выпускавшиеся реле серий ЭТ-60, ЭН-60, ЭТ-70 и ЭН-70 выполнены на электромагнитном принципе.

Кинематическая схема электромагнитного реле серии Э-520 показана на рис. 304.

При осмотре и поверке этого реле обращается особое внимание на надежную затяжку винтов втулок контактного мостика и спиральной пружины. У этих реле проверяется наличие поперечного и продольного зазора в осях, который должен быть не более 0,15÷0,2 *мм.* Якорь не должен задевать о полюса электромагнитов. Зазоры между якорем и полюсами должны просматриваться на глаз при втянутом якоре, а лепестки должны иметь одинаковый изгиб и указатель шкалы должен с некоторым трением ходить по шкале и не сдвигаться самопроизвольно с заданной уставки.

В случае слабой затяжки регулировочной головки *6* необ-

ходимо ослабить стопорный винт *8* фасонного винта *1* регулировочной головки (рис. 305) и повернуть винт на половину оборота или на целый оборот до тех пор, пока крепление указателя не сделается достаточно надежным. На рис. 306 показан внешний вид одного из реле серии Э-520 усовершенствованного

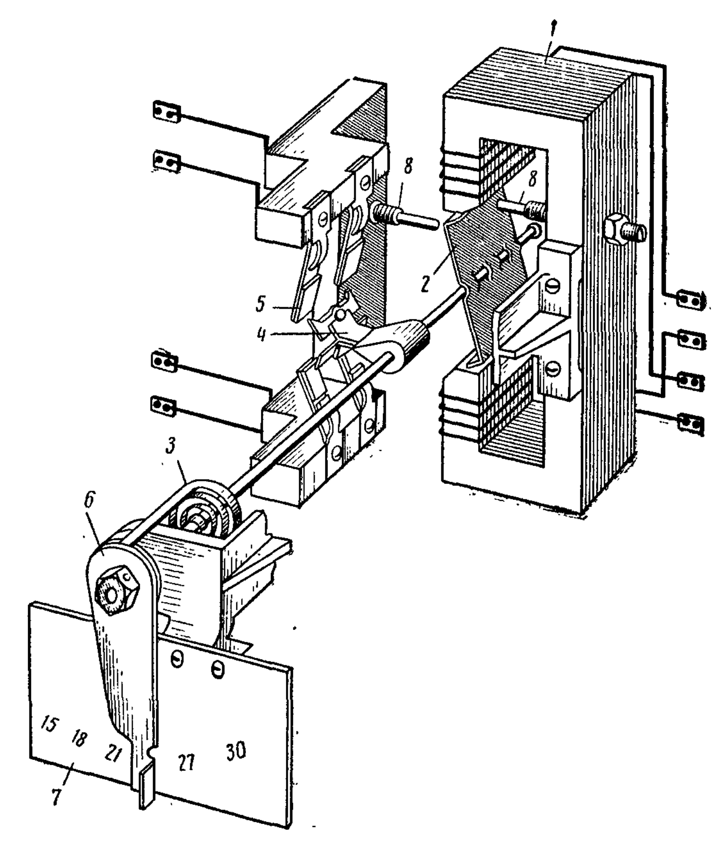


Рис. 304. Кинематическая схема реле серии Э-520:

1 — магнитная система, *2* — поворотный якорь, *3* — спиральная пружина, *4* — подвижной контактный мостик, *5* — неподвижные контакты, *6* — регулировочная головка, *7* — шкала, *8* — упорные винты

образца (электромагнитное токовое реле ЭТ-523), а на рис. 307 — регулировочная головка этого реле.

Плоскость спиральной пружины реле должна быть строго перпендикулярна оси якоря. В противном случае следует ослабить винты, крепящие втулку на оси, сместить втулку, в кото-

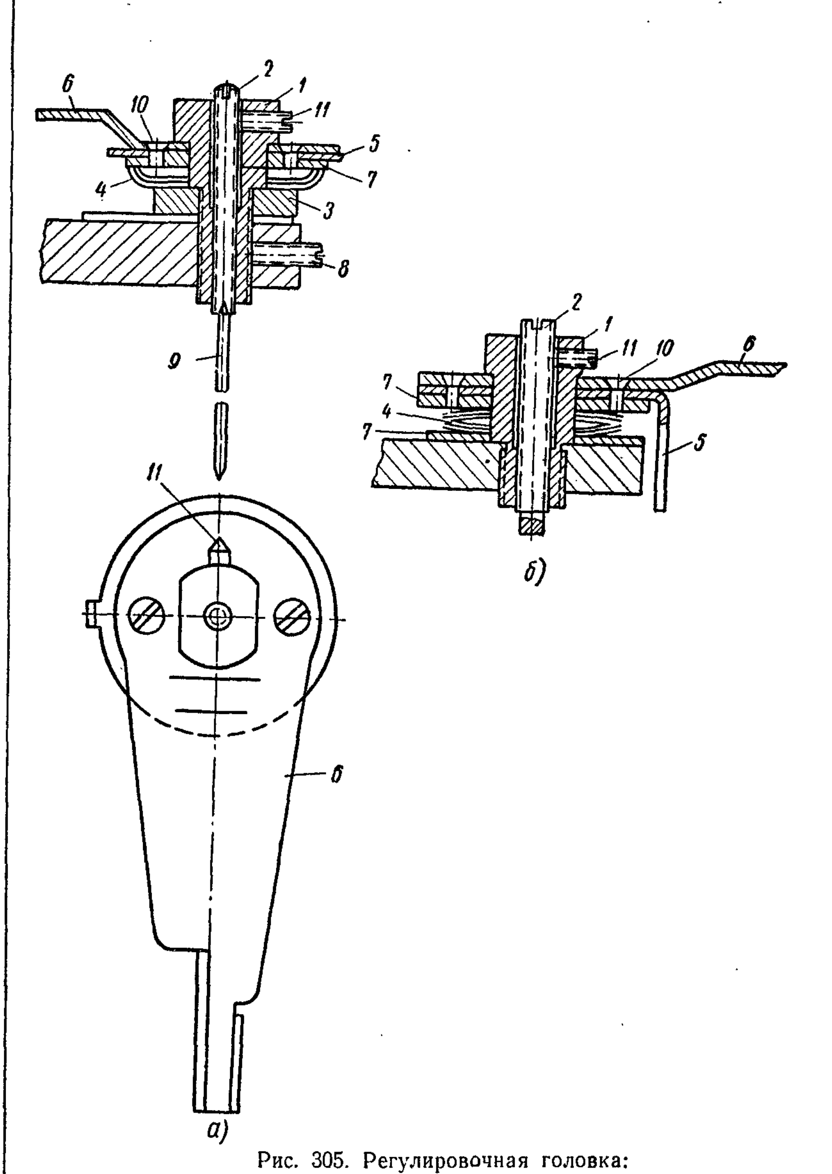


Рис. 305. Регулировочная головка:

а — реле Э-60, *б* — реле Э-520 (старый выпуск); *1* — винт фасонный, *2* — винт подпятника, *3* — гайка, *4* — шайба пружинная, *5* — поводок спиральной пружины, *6* — регулировочная головка (указатель), *7* — шайба, *8* — винт стопорный, *9* — ось, *10* — винт крепежный, *11* — винт стопорный

рой крепится внутренний конец пружины, привести пружины в правильное положение и снова закрепить втулку винтами. Винты пружины не должны касаться друг друга, между ними должен сохраняться равномерный зазор при затяжке пружины

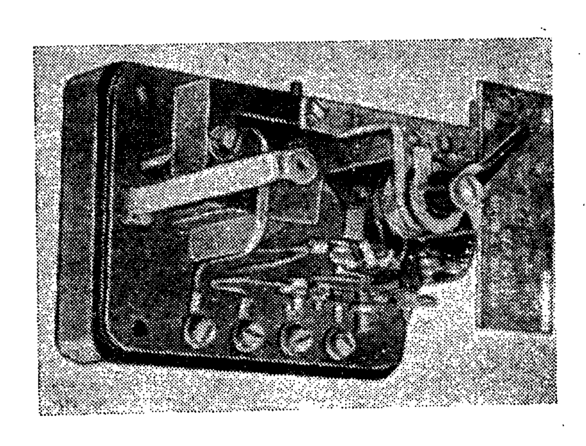


Рис. 306. Внешний вид одного из реле серии Э-520 тока и напряжения усовершенствованного образца (реле ЭТ-523)

из начального в конечное положение, соответствующее наибольшей уставке по шкале реле. Для выполнения этого требования изгибается поводок, к которому крепится внешний

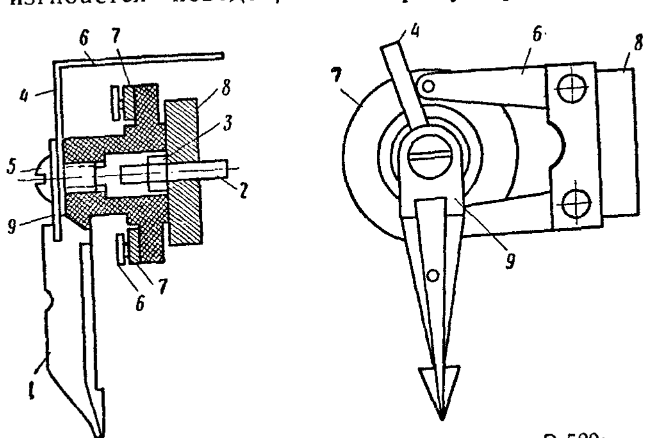


Рис. 307. Регулировочная головка реле серии Э-520:

1 — указатель пластмассовый, *2* — винт подпятниковый, *3* — гайка, *4* — поводок пружины, *5* — винт поводка (М5), *6* — фасонная удерживающая планка, *7* — шайба (кольцо) латунная, *8* — стойка подвижной системы, *9* — стопорная шайба

конец пружины, изгиб следует делать осторожно с помощью пинцета.

Грязные, закопченные и подгоревшие контакты зачищаются и полируются. Промывать их бензином, нашатырным спиртом и другими подобными составами не следует.

Четкая и надежная работа контактов реле без искрения, приваривания, плавления и заскакивания зависит как от их механической регулировки, так и от электрической регулировки реле в целом. Поэтому окончательная регулировка контактов производится под током после настройки электрических параметров реле. Однако правильное взаимное расположение контактов мостика и пружин неподвижных контактов в значительной мере определяет их работу под током, в виду чего предварительная механическая регулировка контактов должна выполняться до подачи тока (напряжения) на реле.

Работа контактов характеризуется следующими факторами: ходом контактов до замыкания, т. е. начальным расстоянием между контактами; углом встречи; прогибом пружин неподвижных контактов; величиной совместного хода и притиранием; величинами продольного и поперечного зазоров подвижного контакта на траверсе контактного мостика. Ход контактов не должен быть чрезмерно большим. При затяжке пружины (увеличение уставки) зазор должен заметно на глаз возрастать.

При новом включении обязательно проверяется исправность подпятников и концов оси, для чего реле устанавливают в строго вертикальное положение и выводят указатель шкалы влево за начальную уставку и следят за поведением контактного мостика якоря.

У исправного реле при повороте указателя примерно на 25—30° влево от первой точки шкалы пружина реле полностью раскручивается. При этом достаточно незначительного поворота указателя на 1—2°, чтобы контактный мостик свободно менял свое положение, то замыкая, то размыкая неподвижные контакты. Вялый или, наоборот, резкий, с рывком, переход подвижного мостика из одного положения в другое сразу укажет на наличие затирания подвижной системы по той или иной причине, не обнаруженной предварительным осмотром. Наиболее вероятной причиной вялой работы реле обычно является загрязнение или нарушение целости подпятников и концов осей.

Для осмотра и проверки переднего подпятника достаточно отвернуть стопорный винт *11* в фасонном винте головки, после чего подпятник свободно вывертывается часовой отверткой (рис. 305). Бронзовые подпятники перед осмотром необходимо почистить конической деревянной чуркой диаметром 3—4 *мм*.

Осмотр подпятников следует производить через часовую лупу. В случае обнаружения выбоин, эксцентриситета или выработки кратера подпятник необходимо заменить новым. При

осмотре в лупу обращают внимание на целость вершины конуса заточки оси, на отсутствие выбоин, царапин и ржавчины на концах оси.

При сборке реле после осмотра и правки подпятников и концов осей вначале вводится на место подвижная система, и втулка пружины насаживается на ось. Затем ставятся на место подпятники, регулируется зазор оси и крепится на оси втулка пружин с нормальной начальной затяжкой порядка 25—30°.

Минимальный зазор между контактами по прямой должен быть не менее 1,5 *мм* на сторону во избежание перекрытия с одной пружины неподвижного контакта через вибрирующий под током (напряжением) контактный мостик на другую пружину неподвижного контакта при коммутационных перенапряжениях в сети постоянного оперативного тока.

Контакты реле регулируются так, чтобы не было вибрации и застревания подвижных контактов на неподвижных. Для этого мостик должен подходить к контактным поверхностям под углом 55—65° и касаться их одновременно. Неподвижные контакты должны находиться в одной плоскости, иметь одинаковый изгиб и замыкаться контактным мостиком одновременно. При правке неподвижных контактов пинцетами необходимо избегать надломов контактных пружин.

Прогиб пружин неподвижных контактов зависит от их упругости, угла встречи и совместного хода контактов, а также от их предварительного натяжения, создаваемого ограничивающими упорами, антивибрационными пластинками. При наличии просвета между упорами и пружинами последние могут вибрировать, вызывая искрение. При излишнем прогибе упоров начальное натяжение пружин велико и они, обладая большей упругостью, отбрасывают мостик при токах (напряжении) срабатывания. У правильно отрегулированного реле упоры должны лежать на пружинах, сообщая им легкий прогиб порядка 0,3 *мм*.

Большие продольные и поперечные зазоры мостика подвижного контакта приводят к вибрации мостика при срабатывании реле, вызывая искрение контактов; отсутствие свободного хода мостика на его оси может привести к отказу реле.

Регулировка реле, имеющих нормально закрытый контакт, должна производиться особенно тщательно. Для создания надежного нормально закрытого контакта необходимо, чтобы при отсутствии тока в обмотке реле подвижная система его своим весом создавала небольшой прогиб нижних контактов пружин, причем между якорем и винтами упора должен быть зазор не менее 0,5 *мм*.

Особое внимание следует обратить на то, чтобы при максимальном повороте мостика вокруг своей оси он не мог одновре-

менно касаться верхнего и нижнего контактов. В таком перекошенном положении мостика расстояние между мостиком и верхними контактами должно быть не меньше 2 *мм* во избежание замыкания верхних контактов с нижними.

У реле с нормально замкнутыми контактами зазор между контактными пружинами и ограничительными упорами должен составлять 0,2—0,3 *мм*.

Реле максимального тока зависимое серии ИТ-80. Реле применяется для защиты электрических машин, трансформаторов и линий передачи при перегрузках и коротких замыканиях. Реле ИТ-85 и ИТ-86 предназначены для схемы защиты с использованием переменного оперативного тока.

По способу включения воспринимающего органа и воздействия исполнительного органа на отключающую катушку выключателя реле ИТ-80 является вторичным реле косвенного действия. По принципу действия реле ИТ-80 является комбинированным и состоит из двух элементов — индукционного с выдержкой времени и электромагнитного мгновенного действия, создающего «отсечку» при больших значениях тока короткого замыкания (т. е. мгновенное срабатывание без выдержки времени).

Кинематическая схема реле представлена на рис. 308, *а*. Изображение главных и сигнальных контактов на кинематической схеме соответствует реле ИТ-86.

Вращающий момент на диске *10* индукционного элемента создается в результате взаимодействия магнитных потоков в зазоре магнитопровода *9* с индуктируемыми ими в диске токами. Вращение диска начинается при токе, равном 20÷40% тока срабатывания реле. Реле в целом при этом еще не действует, так как червяк *4* на оси диска не сцеплен с зубчатым сектором *2*. На вращающийся диск действуют две силы: одна создается магнитопроводом *9* (F_I), другая — постоянным магнитом *3* (F_{II}). Увеличение тока в катушке *8* и, как следствие этого, увеличение скорости вращения диска приводит к возрастанию значений этих сил. При определенном токе равнодействующая этих сил преодолевает натяжение арретирующей винтовой пружины *11* и поворачивает вокруг оси раму *1* с установленной на ней осью и диском. В результате этого происходит сцепление червяка с зубчатым сектором. Сектор поднимается и своим рычагом поворачивает якорь *6* электромагнитного элемента реле. Схематически силы, действующие на диск *10* реле ИТ-80, показаны на рис. 308, *б*. Там же можно видеть два короткозамкнутых витка *12*, применяемых в реле этого типа для замедления работы реле. Правый воздушный зазор между якорем и магнитопроводом при этом уменьшается, а левый увеличивается и якорь притягивается к магнитопроводу.

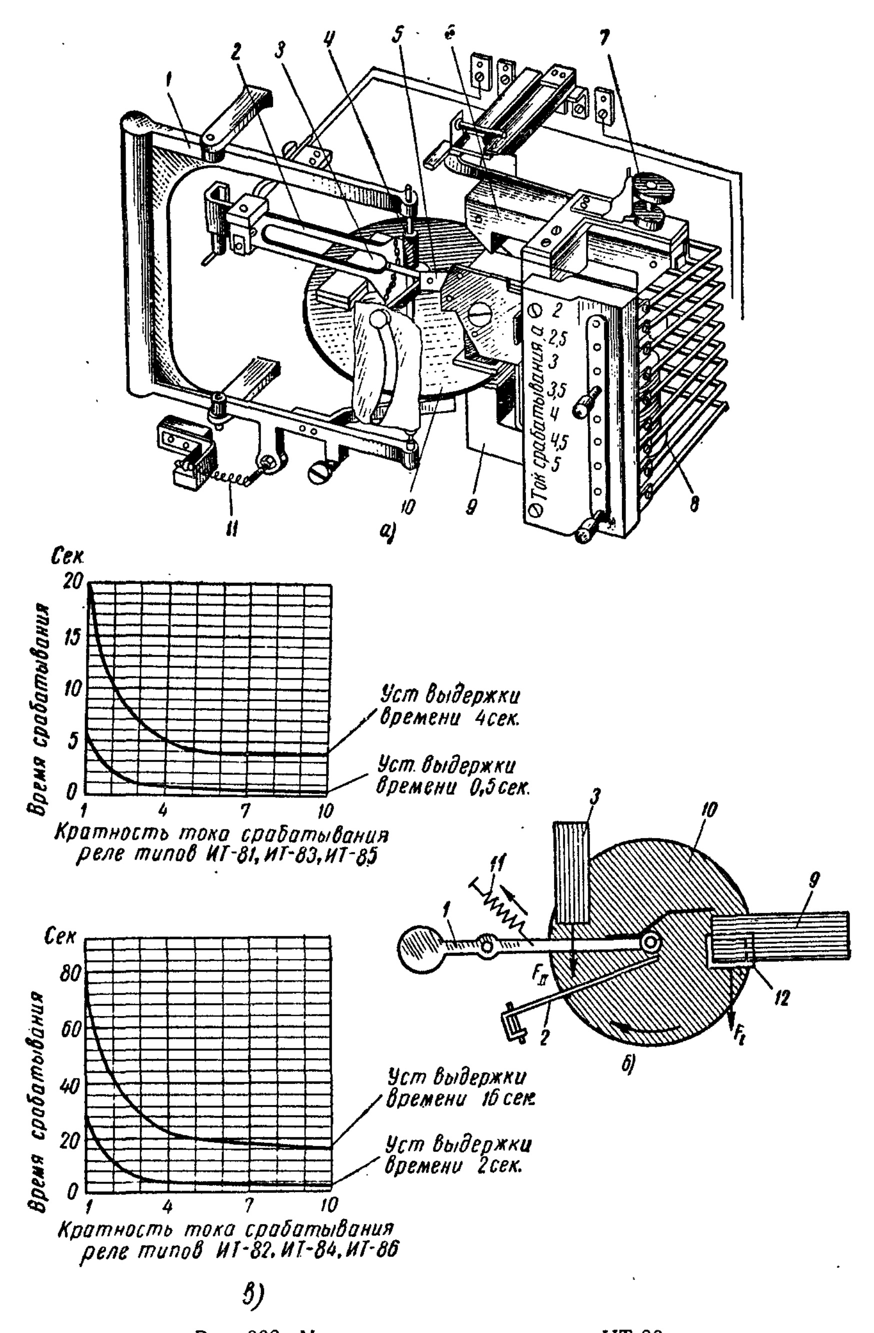


Рис. 308. Максимально токовое реле ИТ-80:
а — кинематическая схема, *б* — силы, действующие на диск реле, *в* — зависимость срабатывания реле от кратности тока

Под воздействием изоляционной пластинки, прикрепленной к якорю, срабатывают контакты реле.

Реле ИТ-81, ИТ-82, ИТ-83 и ИТ-84 выпускаются с одним нормально открытым НО контактом. Однако при необходимости НО контакт можно превратить в нормально закрытый НЗ контакт (перестановкой деталей контактной системы).

Реле ИТ-85 и ИТ-86 имеют НО и НЗ контакты, кинематически связанные так, что размыкание НЗ контакта происходит только после замыкания НО контакта.

Реле типов ИТ-83, ИТ-84 и ИТ-86 имеют, кроме главных, один НО сигнальный контакт. В реле ИТ-81, ИТ-82, ИТ-85 срабатывание главных контактов может происходить как от элемента, создающего выдержку времени, так и непосредственно от элемента «отсечки», обеспечивающего мгновенную работу реле, т. е. без выдержки времени.

В реле ИТ-83, ИТ-84 и ИТ-86 срабатывание с выдержкой времени индукционного элемента приводит к замыканию только сигнальных контактов, срабатывание же главных контактов осуществляется только под воздействием элемента «отсечки».

Изменение уставки тока срабатывания индукционного и электромагнитного элементов — ступенчатое. Оно осуществляется изменением числа витков обмотки реле при помощи штепсельного устройства. Чтобы уставку тока можно было менять без разрыва вторичной цепи трансформаторов тока, предусмотрен второй (запасной) штепсель. Уставка на время срабатывания осуществляется перемещением по шкале упора, определяющего положение сектора, а следовательно, и угол его поворота.

Уставка на кратность тока срабатывания электромагнитного элемента («отсечки») производится изменением воздушного зазора между правой частью якоря и магнитной системой при помощи регулировочного винта *7* (рис. 308, *а*). При этом уставки тока срабатывания индукционного элемента не изменяются. Зависимость времени срабатывания реле от кратности тока представлена на рис. 308, *в*.

Указатель срабатывания *5* главных контактов устанавливается в исходное положение от руки возвратным устройством (без снятия кожуха). Механизм указателя срабатывания закреплен в таком положении, что флажок выпадает только при срабатывании электромагнитного элемента.

Реле предназначаются для монтажа на вертикальной плоскости и выпускаются для переднего либо заднего присоединения внешних проводов.

Коэффициент возврата индукционного элемента не менее 0,8.

Реле максимального тока ИТ-80Б, внешний вид которого показан на рис. 309, имеет два элемента: с зависимой от тока характеристикой и мгновенного действия. Зависимый элемент

действует по индукционному принципу, мгновенный — по электромагнитному принципу.

Реле ИТ-80. Особое внимание обращается на состояние и чистоту поверхности полюсов электромагнита и постоянного магнита, так как попадание металлических опилок в зазор между диском и магнитами приводит к заклиниванию диска. Диск устанавливается между полюсами магнитов с равномерным зазором по всей окружности не менее 0,3 *мм*.

Все оси устанавливаются с люфтом: у рамки — не более 1 *мм*, у диска — не более 0,5 *мм*, у отсечки — не более 0,2 *мм* и у зубчатого сектора — не более 0,5 *мм*.

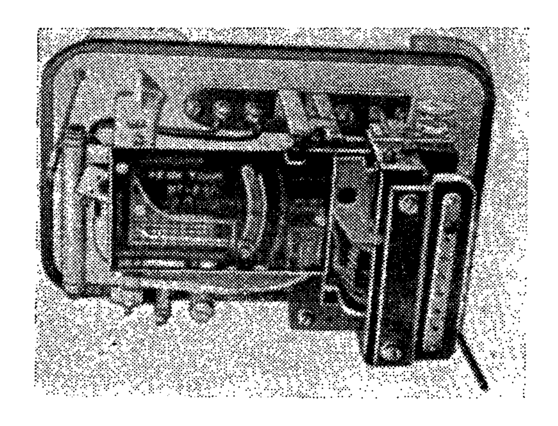


Рис. 309. Внешний вид реле максимального тока ИТ-80Б

Расстояние между контактами устанавливается не менее 3 *мм*. При срабатывании реле неподвижные контакты должны прогибаться на 0,8—1 *мм*. Такой же прогиб должны иметь нормально замкнутые контакты.

Наибольшему износу подвергаются подпятники и ось диска. Одним из признаков износа оси или подпятников является повышение тока начала вращения диска больше чем до 30% срабатывания реле.

В этих случаях нижний подпятник вывертывается и осматривается через лупу. Если шарик подпятника имеет царапины или другие дефекты, то он или весь подпятник заменяется. У верхнего подпятника проверяется состояние боковой полированной поверхности стальной шпильки; при наличии царапин или иных дефектов верхний подпятник также следует заменить. При вялом ходе рамки аналогично проверяется исправность ее под-

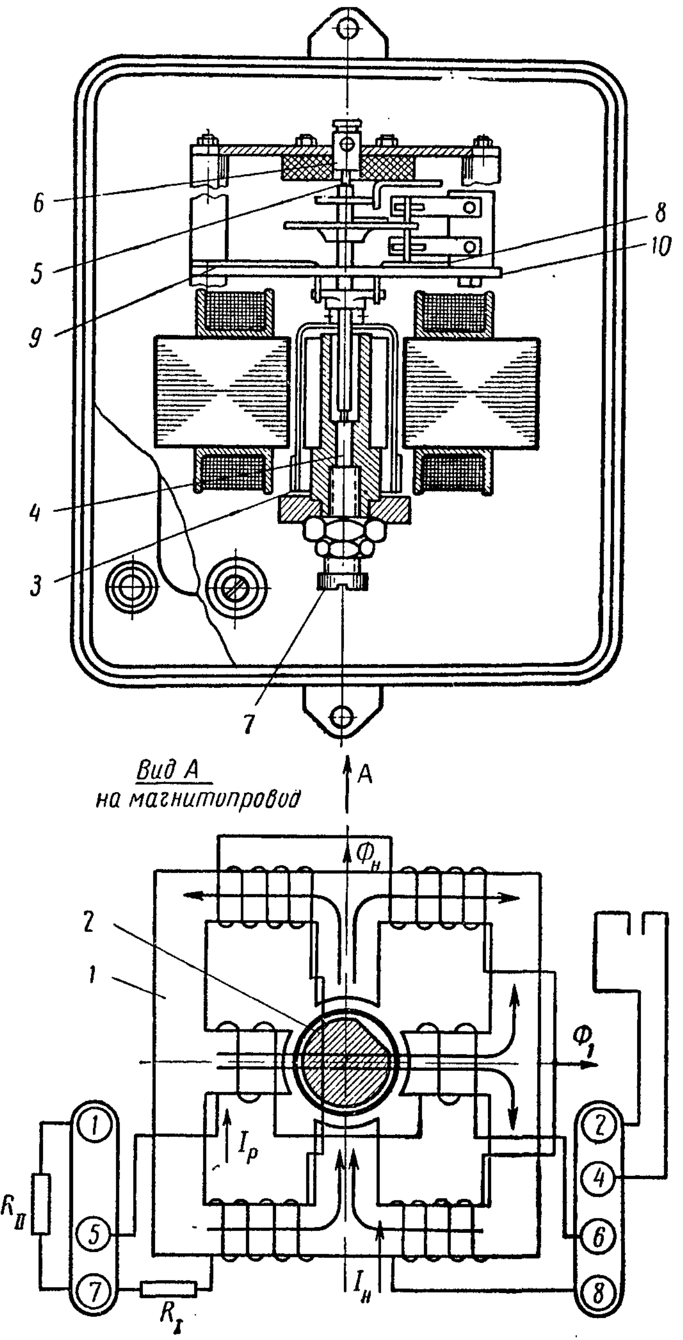


Рис. 310а. Схема устройства быстродействующего реле мощиости ИМБ-170

пятников и концов осей. Глубина зацепления устанавливается на $^1/_3$ глубины нарезки червяка.

Быстродействующее реле мощности серии ИМБ-170. Схема и конструктивное устройство этих реле представлены на рис. 310 а, внешний вид — на рис. 310 б. Магнитопровод реле *1* набирается из листов электротехнической стали и имеет прямоугольную форму. Между четырьмя выступающими полюсами находится шихтованный цилиндрический сердечник *2*, имеющий срез по образующей для регулировки «самоходов». В зазор между полюсами и сердечником помещен ротор реле *3*, представляющий собой тонкостенный алюминиевый стаканчик, закрепленный при помощи винтов на оси *4*. На цапфах *5* ротор реле может поворачиваться на угол до 5° в верхнем *6* и нижнем *7* подшипниках, снабженных для уменьшения трения корундовыми камнями. Угол поворота ротора ограничен упорами *8* и *9*, помещенными на металлической панели *10*. Положение упоров может изменяться при регулировке контактов реле.

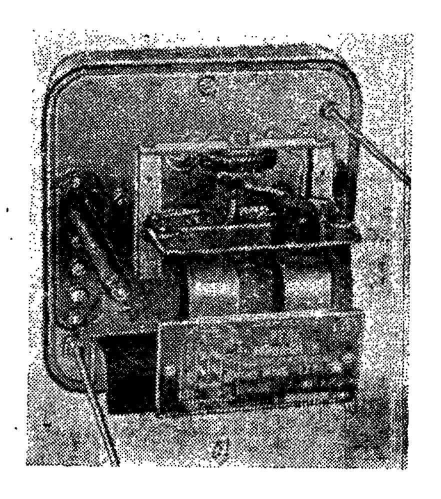


Рис. 310б. Внешний вид быстродействующего реле мощности ИМБ-170

Так как реле ИМБ-170 имеют подпятники на корундовых камнях, состояние которых сильно влияет на работу реле, то при затирании или вялом ходе реле проверяется состояние подпятников. Они поочередно вывертываются, осматриваются через лупу и прощупываются острой иглой. Подпятники, камни которых имеют трещины или другие повреждения, заменяются.

Ротор (стаканчик) устанавливается так, чтобы между ним и полюсами электромагнита был зазор порядка 0,9 *мм* и не было задевания стаканчика за стальной сердечник. Вертикальный люфт оси не должен превышать 0,5 *мм*. Контакты регулируются так, чтобы расстояние между ними составляло 1 *мм*, угол подхода подвижного контакта к неподвижному $\alpha = 50-60°$ и совместный ход после их замыкания порядка 1 *мм* (рис. 311).

На рис. 312 дана принципиальная схема включения быстродействующего реле мощности типа ИМБ-170. В нормальных условиях не должно создаваться момента на подвижной системе реле. Упоры должны быть чистыми и исключать возможность прилипания.

Реле времени типов ЭВ-180 и ЭВ-200. На рис. 313 показан внешний вид этих реле. Реле времени серии ЭВ имеют много конструктивных разновидностей, но принципы их устройства одинаковы, что видно на примере кинематической схемы реле ЭВ-122, показанной на рис. 314. При появлении тока в

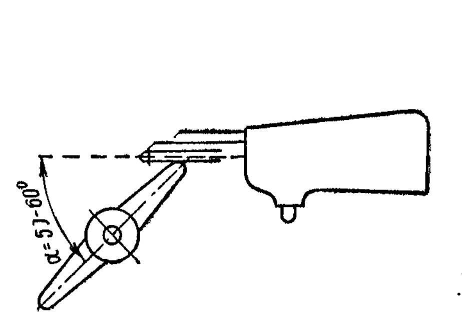


Рис. 311. Эскиз подхода подвижного контакта к неподвижному у реле ИМБ-170

Рис. 312. Принципиальная схема включения реле мощности ИМБ-170

обмотке *1* якорь *2* реле мгновенно втягивается, сжимая возвратную пружину *3* и освобождая палец *8*. Под влиянием ведущей пружины *10* зубчатый сектор *9* вращает сцепленное с ним зубчатое колесо *11*, которое в свою очередь вращает валик с укрепленным на нем подвижным контактом *17*. При вращении последнего происходит его сцепление с ведущим зубчатым колесом *13* с помощью фрикционного сцепления *12*. Ведущее зубчатое колесо *13* через промежуточные зубчатые колеса *14*, *15* и *16* связано с часовым механизмом, который обеспечивает движение подвижного контакта *17* с определенной скоростью, чем создается выдержка времени. Величина выдержки времени зависит от расстояния между начальным положением подвижного контакта *17* и неподвижными контактами *18*, которые для изменения времени уставок можно перемещать по шкале *19*.

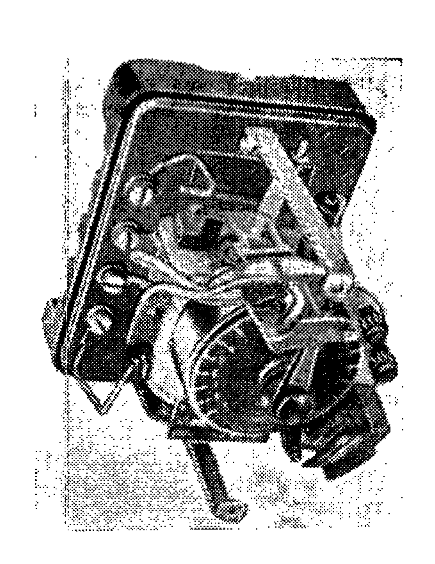


Рис. 313. Внешний вид реле времени серии ЭВ

Кроме регулируемых контактов *17* и *18*, реле времени имеет мгновенные — подвижной контакт *5* и неподвижные контакты *6* и *7*. Нормально подвижной контакт *5* замкнут с контактом *6*. При втягивании якоря *2* поводок *4* нажимает на контакт *5*, переключает его и замыкается с контактом *7*.

Часовой механизм представляет собой сложное и точное устройство, требующее тщательного выполнения и точного сочленения. Поэтому проверка механической части устанавливаемых реле времени должна производиться особенно внимательно.

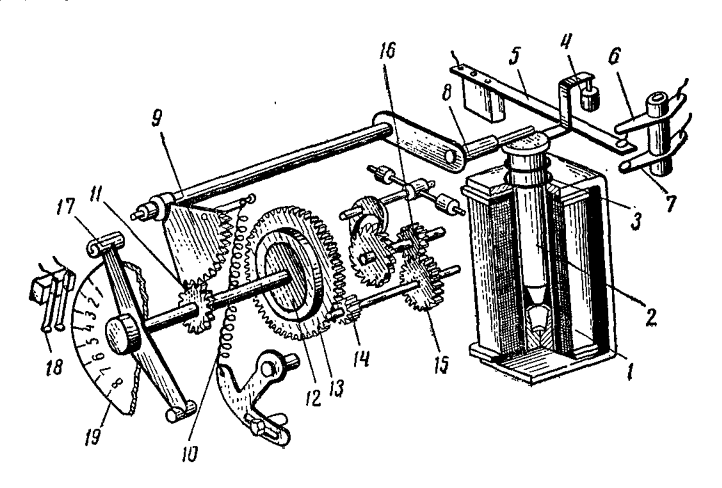


Рис. 314. Кинематическая схема реле ЭВ-122

Вначале проверяется отсутствие искривлений штока якоря. Для этого на якорь нажимают несколько раз и затем отпускают его, поворачивая каждый раз на небольшой угол, пока он не совершит полного оборота. Если имеется искривление штока, то в одном из положений якоря может получиться затирание. Трибка устанавливается на своей оси с вертикальным люфтом около 0,5 *мм* и не должна упираться в тело цилиндра.

При наличии разброса или изменения уставки проверяется состояние подпятника и оси подвижной системы. Для этого подпятник очищается заточенной деревянной палочкой и осматривается через лупу. При обнаружении дефектов подпятник заменяется.

Очень важно обеспечить правильное сочленение подвижной системы с часовым механизмом. Для этого нижний подпятник устанавливается так, чтобы ведущее колесо подвижной системы сцеплялось с трибкой часового механизма в ее врехней трети и имело в сцеплении небольшой люфт. Люфт подвижной си-

стемы должен составлять 0,5—0,8 *мм*. Часовой механизм проходит специальную регулировку на заводе, поэтому, как правило, не следует нарушать заводской регулировки часового механизма. В большинстве случаев неисправность часового механизма проявляется в неравномерном ходе, срывах и перебоях, что обнаруживается на слух. Ход часового механизма совместно с подвижной системой при резком и плавном нажатии и отпускании якоря от руки должен быть равномерным без срывов и перебоев, а возврат в исходное положение — четким и надежным.

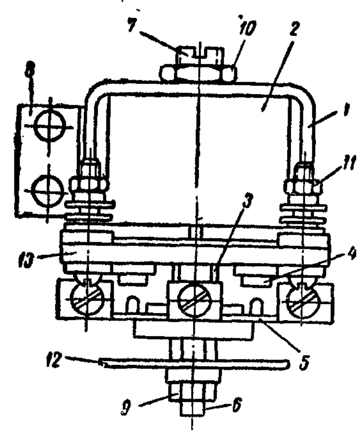


Рис. 315. Реле ЭП-1:

1 — магнитопровод, *2* — обмотка, *3* — якорь, *4* — неподвижный контакт, *5* — диск с подвижным контактом, *6* — ось якоря, *7* — упор, *8* — угольник для крепления реле, *9* — гайки для крепления нижнего диска, *10* — гайка для крепления упора, *11* — выводы, *12* — нижний диск, *13* — основание реле

Промежуточное реле ЭП-1. Реле применяется в различных схемах защиты и автоматики на оперативном постоянном токе в качестве промежуточного реле в тех случаях, когда требуется усилить действие контактов основных реле или увеличить количество контактов. Реле отличается малыми габаритами, небольшой потребляемой мощностью. Реле изготовляется в двух исполнениях: с последовательной обмоткой и параллельной.

Действие реле основано на электромагнитном принципе. На якоре реле (рис. 315) расположен самоустанавливающийся контактный диск с тремя серебряными контактами. К скобе магнитопровода *1* прикреплена изоляционная плитка *13*, служащая основанием и несущая три изолированных между собой неподвижных контакта *4*. Таким образом, реле имеет два нормально открытых контакта с общей точкой. Обмотка и контакты имеют выводные зажимы. Реле снабжено угольником *8* с двумя отверстиями для крепления его на вертикальной плоскости.

Ток срабатывания реле с последовательной обмоткой равен 50% номинального тока, напряжение срабатывания реле с параллельной обмоткой — 50% номинального напряжения. Время срабатывания реле при номинальных величинах не более 40 *мсек*. Контакты реле рассчитаны на длительный ток замыкания, равный 5 *а*, и способны разрывать мощность 100 *вт* при токе не более 0,75 *а* и напряжении не более 220 *в* в цепи постоянного тока с индуктивной нагрузкой.

Промежуточное реле ЭП-101А и ЭП-103А с одной обмоткой напряжения (рис. 316). Реле ЭП-101А имеет два НО и два НЗ контакта; реле ЭП-103А — четыре НО кон-

такта. Реле собирается на Ш-образной магнитной системе, на среднем стержне которой насажена катушка с обмоткой 2. Якорь 3 реле поворачивается относительно магнитопровода на гибком бронзовом угольнике 10, который крепится одной стороной к якорю, а другой — к магнитопроводу. Возвращается якорь в исходное положение под действием пружины 6. Подвижные контакты 5 мостикового типа укреплены на якоре, неподвижные 4 — на скобе 9, прикрепленной к магнитопроводу.

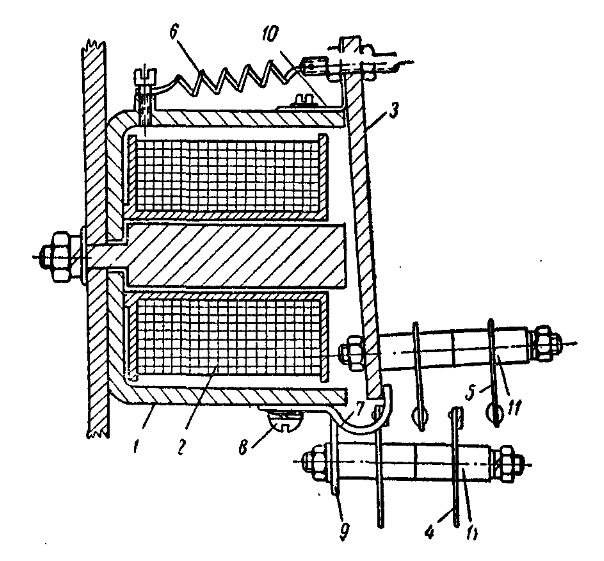


Рис. 316. Реле ЭП-101А и ЭП-103А:

1 — магнитопровод, 2 — обмотка, 3 — якорь, 4 — неподвижные контакты, 5 — подвижные контакты, 6 — возвратная пружина, 7 — упорная скоба, 8 — крепление скобы неподвижных контактов, 9 — скоба неподвижных контактов, 10 — гибкий угольник якоря, 11 — изолирующие колонки

Реле помещены в пылезащитных прямоугольных пластмассовых корпусах и предназначены для монтажа на вертикальной плоскости.

Время срабатывания реле при подаче номинального напряжения не более 30 *мсек*; время возврата подвижной системы при отключении напряжения 20 *мсек*. Реле срабатывает при 70% номинального напряжения. Мощность, потребляемая обмоткой реле при номинальном напряжении, равна приблизительно 7 *вт*.

Контакты работают на постоянном токе: длительный ток 5 *а*; максимальный ток размыкания при неиндуктивной нагрузке и напряжении 220 *в* 1 *а*, а при 110 *в* 5 *а*. Максимальный

ток размыкания при индуктивной нагрузке и напряжении 220 *в* 0,5 *а*, а при 110 *в* 4 *а*. При работе контактов на переменном токе длительный ток 5 *а*; максимальный ток размыкания при напряжении 220 *в* 5 *а*, а при 110 *в* 10 *а*. В настоящее время выпускаются новые типы промежуточных реле РП-23, РП-24 и др.

Промежуточные реле ЭПВ-105, ЭПВ-106 (рис. 317) применяются в тех случаях, когда по условиям работы требуется небольшая выдержка времени реле на срабатывание. Реле ЭПВ-105 имеет одну обмотку напряжения; реле ЭПВ-106, кроме рабочей обмотки напряжения, имеет еще дополнительную короткозамкнутую обмотку, обеспечивающую при отключении рабочей обмотки небольшую выдержку времени на возврат подвижной части. Реле ЭПВ-105 изготовляются только для кратковременного (до 10 *сек*) включения.

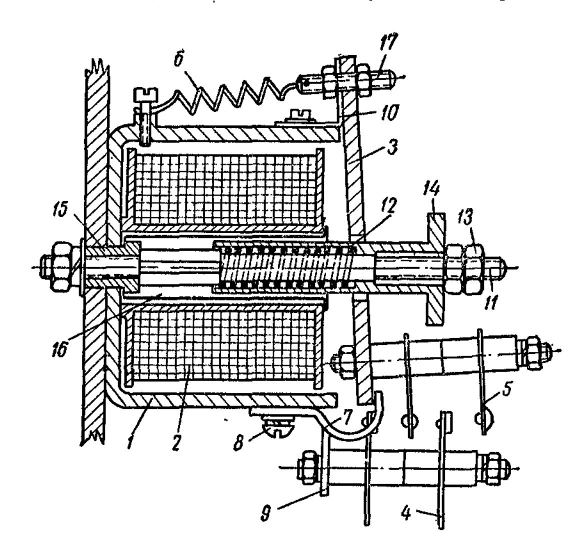


Рис. 317. Реле ЭПВ-105, ЭПВ-106:

1 — магнитопровод, *2* — обмотка, *3* — якорь, *4* — неподвижные контакты, *5* — подвижные контакты, *6* — возвратная пружина, *7* — упорная скоба, *8* — крепление скобы неподвижных контактов, *9* — скоба неподвижных контактов, *10* — гибкий угольник якоря, *11* — ось, *12* — пружина, *13* — гайка, *14* — верхняя втулка, *15* — нижняя втулка, *16* — латунная гильза, *17* — винт для регулировки возвратной пружины

Сердечник магнитопровода реле ЭПВ-105 состоит из двух втулок *14* и *15*. Втулка *15* ввинчена в скобу магнитопровода *1*. Втулка *14* перемещается вдоль латунной оси *11*. Пружина *12* держит втулку *14* у гаек *13* на оси *11*. При подаче на обмотку

реле напряжения втулка *14*, работая как плунжер, втягивается в катушку.

По мере приближения втулки *14* к втулке *15* воздушный зазор магнитопровода реле уменьшается, а магнитный поток якоря увеличивается и, таким образом, увеличивается тяговое усилие на якоре. Реле срабатывает тогда, когда тяговое усилие на якоре станет больше удерживающего усилия пружины *6*. Возвращается якорь в исходное положение под действием пружины *6*. Время срабатывания реле ЭПВ-105 регулируется в пределах 10—50 *мсек* за счет изменения хода втулки *14*; время возврата реле ЭПВ-105 20 *мсек*; а реле ЭПВ-106 25 *мсек*.

Реле ЭПВ-105 имеет 4 НО контакта, реле ЭПВ-106 — 1 НО и 1 НЗ контакты с коммутационной способностью такой же, как и у реле ЭП-101 и ЭП-103.

§ 3. ПРОВЕРКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ РЕЛЕ

Проверка сопротивления изоляции. Перед проверкой сопротивления изоляции все зажимы и другие детали очищаются от пыли и загрязнения. В случае необходимости производится сушка отсыревших в процессе монтажа деталей и проводки.

Цепи релейной защиты должны иметь хорошую изоляцию токоведущих частей от земли, между жилами или проводами одной и той же цепи (например, между фазами, между плюсом и минусом и т. д.) и между несвязанными цепями (например, между цепями трансформаторов тока и цепями постоянного тока). При этом измеряется сопротивление изоляции по участкам (вторичные обмотки трансформаторов тока, контрольный кабель, панель защиты) и всего устройства в целом. Нарушения изоляции аппаратов или цепей могут привести к отказам или неправильным действиям релейной защиты.

Проверка сопротивления изоляции токоведущих частей реле относительно корпуса (магнитопровода) и между собой производится мегомметром на 1000 или на 2500 *в*. Сопротивление изоляции должно быть не ниже 50—100 *Мом*. При наличии в проверяемых цепях элементов, рассчитанных на испытательное напряжение ниже 1000 *в*, эти элементы должны быть отсоединены и испытаны отдельно мегомметром на 500 *в*.

При проверках изоляции следует помнить о наличии в устройствах защиты твердых выпрямителей и конденсаторов и не допускать попадания этих элементов под повышенное напряжение.

Электрическая прочность изоляции токоведущих элементов реле относительно земли испытывается при включении переменным напряжением 1000 *в* в течение 1 *мин*.

Принципиальная схема испытания изоляции вторичных цепей повышенным напряжением показана на рис. 290 и 294.

Проверка и регулировка электрических характеристик реле. После внешнего осмотра и проверки механической части реле приступают к снятию электрических характеристик и настройке реле на заданные проектом уставки.

Регулировка и измерения токов или напряжений срабатывания и возврата мгновенных реле тока и напряжения типа ЭТ-520 и аналогичных им производятся при нагрузках на контакты, соответствующих действительным условиям работы схемы защиты.

Питание подается от сети переменного тока 50 *гц*. Величина тока может регулироваться любым способом, так как форма кривой тока не влияет на работу реле электромагнитного типа.

Подбор реостатов и потенциометров для проверки реле определяется напряжением питания и пределами шкалы испытуемого реле. В случае использования схемы потенциометра или автотрансформатора для настройки малоамперных токовых реле последовательно с обмоткой реле необходимо включить добавочное сопротивление, превосходящее в 7—10 раз сопротивление катушек реле переменному току. Это необходимо для исключения влияния изменений его внутреннего сопротивления на величину тока в обмотке реле при перемещении якоря.

Потенциометр должен обеспечивать плавную регулировку через 0,5—1 *в*. Реостаты должны позволять осуществить как плавную регулировку токов в пределах шкалы, так и возможность подачи на реле максимального тока при проверке отсутствия вибрации. При измерении токов или напряжений срабатывания и возврата ток или напряжение следует изменять плавно в одну сторону — увеличивать или уменьшать.

Каждое измерение повторяется не менее трех раз для определения разброса и оценки по разбросу состояния подпятников. Если разброс превышает 5% среднего значения, то необходимо проверить состояние концов оси и подпятников реле.

При проверке токов срабатывания и возврата следует обращать особое внимание на характер движения якоря: начав двигаться, якорь должен четко доходить до конечного положения при неизменной величине тока или напряжения у реле. При неисправных подпятниках, грязи, затираниях движущихся частей якорь реле после начала движения останавливается, не дойдя до конечного положения. Такое реле должно подвергаться тщательному осмотру с проверкой подпятников.

При новом включении после перемотки реле, проверки подпятников или после изменения начальной затяжки пружины необходимо проверить токи (напряжения) срабатывания на край-

них точках шкалы. При несовпадении величин срабатывания с уставкой по шкале необходимо регулировкой реле привести их в соответствие со шкалой.

Ток срабатывания реле при уставке в конце шкалы следует регулировать левым винтом упора, определяющим начальное положение якоря у обесточенного реле, придерживаясь следующего правила: если ток срабатывания вырос против уставки (реле загрубилось), следует подачей винта упора вперед ввести якорь ближе под полюса, если же реле срабатывает при токе, меньшем уставки, необходимо вывести якорь дальше из-под полюсов, вывертывая для этого винт упора.

Начальная уставка шкалы регулируется изменением затяжки пружины, для чего следует ослабить крепление поводка пружины на оси указателя шкалы. На реле Э-520 нового образца это осуществляется отвертыванием на четверть или пол-оборота винта *5* поводка (рис. 307), на реле Э-520 старой конструкции и на реле Э-60 и Э-70 следует ослабить часовой отверткой оба крепежных винта *10* (рис. 305) и, придерживая рукой указатель шкалы, повернуть поводок в нужном направлении. Добившись совпадения тока срабатывания с уставкой следует закрепить все винты, после чего повторно проверить токи срабатывания в начале и в конце шкалы. При правильной установке начального положения якоря небольшая подрегулировка пружиной начальной уставки, как правило, не сказывается на конечной уставке.

Проверка и устранение вибрации контактов. Надежность работы контактов определяется четким однократным срабатыванием (или отпаданием) того промежуточного реле или реле времени, на которое они действуют в схеме защиты. Работа нормально открытых замыкающихся контактов должна проверяться и быть четкой на всем диапазоне токов (напряжений) — от величины 1,05 $I_{ср}$ и $U_{ср}$ до наибольшей возможной в условиях эксплуатации кратности тока (напряжения) в обмотке реле.

У минимальных реле, размыкающих контакт при снижении тока или напряжения, он должен быть четко без искрений и вибрации замкнут при изменении тока или напряжения от максимально возможного в условиях эксплуатации до значения, при котором срабатывает реле.

При малых токах, близких к току срабатывания, вибрацию следует устранять регулировкой самих контактов, а при больших токах, когда якорь удерживается упором — регулировкой положения подвижной системы. Разные экземпляры реле дают наиболее сильную вибрацию при различной кратности тока по отношению к току уставки. Поэтому для каждого реле должна быть определена критическая кратность тока, при которой вибрация реле наибольшая.

Причиной недопустимо сильной вибрации могут быть механические неисправности реле, не проявляющиеся при меньших значениях тока. Причиной чрезмерной вибрации может также быть невыгодное положение мостика на оси относительно якоря, при котором момент от веса по-разному сказывается при различном положении якоря под полюсами. В этом случае сле-

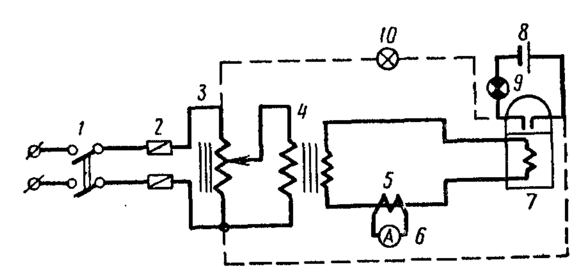


Рис. 318. Схема для снятия характеристики реле ЭТ-520:

1 — рубильник двухполюсный, *2* — предохранители с плавкой вставкой на 6-10 *а*, *3* — лабораторный автотрансформатор ЛАТР-1 или ЛАТР-2, *4* — понижающий однофазный трансформатор ТПБ на 220/12 *в*, *5* — универсальный лабораторный многопредельный трансформатор тока УТТ5, *6* — двухпредельный амперметр астатической электромагнитной системы Э53 или электродинамической системы ЭЛА с переключением 0—2,5—5 *а*, *7* — испытуемое реле, *8* — батарея для карманного фонаря, *9* — сигнальная лампа на 4,5 *в*, *10* — неоновая лампа

дует ослабить стопорные винты, крепящие мостик к оси якоря, повернуть и снова закрепить мостик в новом положении, при котором вибрация заметно ослабнет. Вибрация может также усиливаться незаметным на глаз перекосом оси якоря относительно оси магнитного потока из-за эксцентриситета подпятников либо нарушения соосности отверстий для них в теле стойки.

Проверка электромеханических реле тока мгновенного действия типа ЭТ-520. Схема для снятия характеристики реле приводится на рис. 318. Пунктиром показан вариант для контроля замыкания контактов реле с помощью неоновой лампы *10*; в этом случае отпадает надобность в батарейке *8* и лампе *9*. В качестве контролирующего прибора применяют карманный искатель (рис. 319) или токоискатель низкого напряжения типа ТИ-2 (рис. 151) или отвертку — указатель напряжения (рис. 320).

Замыкание контактов реле можно также заметить и по амперметру, так как в этот момент произойдет толчок стрелки амперметра. Проверка реле заключается в определении тока трогания и тока возврата на всех установках и в подсчете коэффициента возврата реле. На шкале реле, как известно, имеется градуировка по току. При помощи движка устанавливают

минимальную уставку по шкале, причем левый обрез движка должен совпадать с чертой (риской) на шкале, соответствующей этой уставке.

Медленным поворотом рукоятки автотрансформатора *3* поднимается напряжение на первичной обмотке трансформатора *4*, а следовательно, растет ток во вторичной его обмотке, к кото-

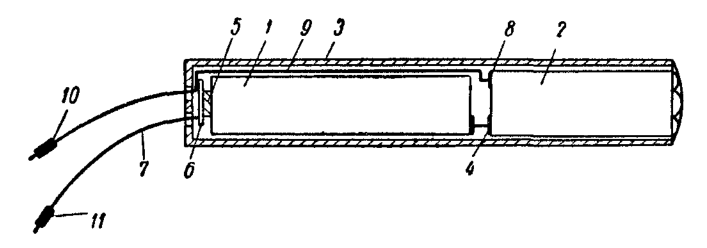


Рис. 319. Карманный искатель для проверки электрических цепей:

1 — сухой элемент, *2* — указательный блинкер, *3* — цилиндрический футляр из пластмассы, *4* — первый зажим блинкера, *5* — контакт элемента, *6* — свинцовая пластинка для присоединения проводника, *7* — первый провод, *8* — второй зажим блинкера, *9* — второй провод, *10* и *11* — однополюсные вилки

рой присоединена катушка испытуемого реле. Наблюдая за амперметром *6* и за сигнальной лампочкой, фиксируют ток по амперметру в катушке реле в момент загорания лампочки, со-

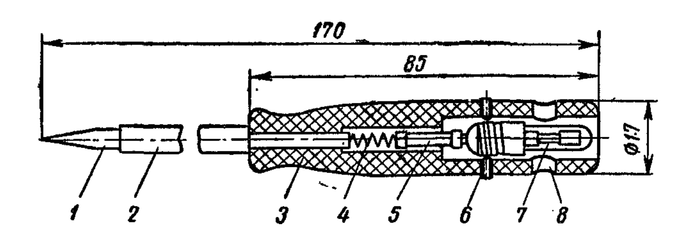


Рис. 320. Отвертка-указатель напряжения (индикатор):

1 — стержень отвертки, *2* — изоляционная трубка, *3* — ручка отвертки из эбонита, *4* — пружина, *5* — радиосопротивление ВС—0,25 *вт*, 1,6—*Мом*, *6* — контактный винт, *7* — неоновая лампочка МН—5, *8* — окно

ответствующий току трогания реле. Затем увеличивают ток несколько больше тока срабатывания, чтобы система надежно дошла до упора, после чего ток снижают и фиксируют его величину в момент потухания лампочки, что будет соответствовать току возврата реле. Отношение тока возврата к току трогания реле определяет коэффициент возврата реле на данной уставке.

Аналогичные измерения делают на всех уставках реле по шкале и на рабочей (проектной) уставке. Данные каждого измерения заносят в протокол наладки. Необходимо на каждой уставке реле сделать, как сказано выше, не менее трех измерений, это подтвердит правильность произведенных измерений.

Как известно, лабораторные амперметры имеют зеркальную шкалу; необходимо наблюдать за отсчетом по шкале так; чтобы стрелка амперметра и ее отражение в зеркале шкалы совпадали.

После снятия характеристики определяется качество реле, т. е. отсутствие вибрации, искрения и заскакивания контактов. Отсутствие вибрации и искрения проверяется путем плавного поднятия тока в катушке реле от его номинального значения до величины, равной десятикратному значению, причем эту проверку рекомендуется делать в пределах шкалы несколько выше рабочей уставки реле и с присоединенной нагрузкой на контакты. В том случае, если реле без искрения и вибрации держит свои контакты закрытыми в период увеличения тока до величины, равной десятикратному значению номинального тока, следует считать, что реле выдержало испытание. Не изменяя величины тока, отключают рубильник *1* и затем включают его, подавая импульсом десятикратный ток в катушку реле. Если при замыкании подвижные контакты реле не заскакивают за неподвижные, то проверка на замыкание считается выполненной. Такая проверка выполняется не менее пяти раз. После произведенных испытаний вторично производятся контрольные измерения тока трогания, тока возврата реле и определяют коэффициент возврата на рабочей уставке. Если величина рабочей (проектной) уставки реле находится в промежутке между фиксированными точками шкалы реле, то эту точку рекомендуется отметить риской. Перед проверкой реле на вибрацию, искрение и заскакивание следует переключить трансформатор тока *5* на больший предел по коэффициенту трансформации.

Электромеханические реле напряжения мгновенного действия типа ЭН-520. Эти реле изготовляются для максимального и минимального напряжений на разные пределы напряжений срабатывания, начиная от 15 до 400 *в*, а также с разным количеством НО и НЗ контактов. Реле имеют четыре вывода от катушки напряжения, дающие возможность соединить секции катушки последовательно на высший предел напряжения, начиная от 70 до 550 *в*, и параллельно на низший предел напряжения, начиная от 35 до 275 *в*. Шкала реле ЭН-520 имеет градуировку для низшего предела напряжения, т. е. при параллельном соединении обмотки. В конце шкалы имеется знак «×2»; это означает, что в случае со-

единения обмоток последовательно показания шкалы следует умножать на два.

Для проверки шкалы реле минимального напряжения собирают схему согласно рис. 321. Проверка реле начинается с минимальной уставки по шкале. С помощью потенциометра или автотрансформатора *3* напряжение поднимается до величины, при которой реле размыкает свои контакты и лампочка тухнет; это положение реле принимается за положение возврата. Затем медленно снижают напряжение до момента, когда реле замкнет свои контакты и лампочка загорится; это положение реле принимается за положение срабатывания. Отношение напряжения возврата к напряжению срабатывания называется коэффициентом возврата реле. Коэффициент возврата мини-

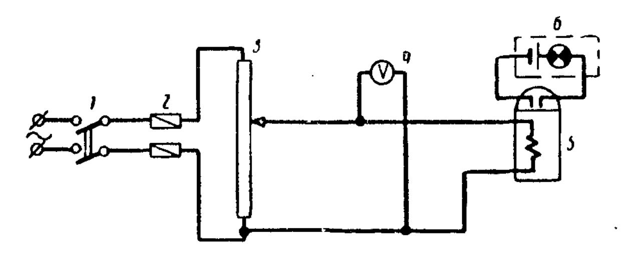


Рис. 321. Схема для проверки шкалы реле напряжения ЭН:

1 — двухполюсный рубильник, *2* — предохранители, *3* — потенциометр или лабораторный автотрансформатор ЛАТР, *4* — статический вольтметр АМВ с двумя пределами измерения 7,5—60 *в* и 75—660 *в*, *5* — испытуемое реле, *6* — карманный искатель

мальных реле всегда больше единицы. Проверка ведется на всех уставках реле. Если проектная уставка реле находится между фиксированными уставками шкалы, то рекомендуется ее отметить риской.

После проверки шкалы проверяются контакты реле на отсутствие искрения и вибрации. Для этого рекомендуется после фиксации проектной уставки присоединить реле на нагрузку, на которую оно работает в схеме, и поднять напряжение с помощью потенциометра *3* на 30% выше фиксированного. Если не будет отмечено вибрации или искрения контактов, следует считать, что реле испытание выдержало. После проверки и испытания следует закрыть кожух реле и поставить пломбу. Все данные ввести в протокол испытания реле.

Проверка электрических характеристик реле максимального тока типа ИТ-80. При проверке в качестве нагрузочных устройств следует пользоваться реостатами активной нагрузки, причем величину сопротивления рео-

стата следует брать не менее десятикратной величины общего сопротивления катушки испытуемого реле.

При испытании реле ИТ-80 производятся проверка шкалы тока и отсечки и снятие характеристики. Для проверки шкалы тока собирается схема по рис. 322; проверка производится так же, как и у реле ЭТ, т. е. определяется ток трогания, ток возврата и коэффициент возврата на всех уставках реле.

Перед проверкой шкалы тока необходимо уставку по времени поставить максимальную, а уставку шкалы отсечки загрубить, затем реле должно быть закрыто кожухом, чтобы через него замыкалось магнитное поле реле. Проверка со снятым кожухом нередко приводит к ошибке при настройке реле.

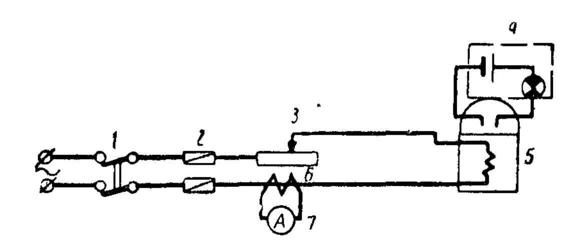


Рис. 322. Схема для проверки шкалы тока реле ИТ-80:

1 — двухполюсный рубильник, *2* — предохранители, *3* — реостат, *4* — карманный искатель, *5* — реле ИТ-80, *6* — трансформатор тока, *7* — амперметр

Перед проверкой следует убедиться, что вращение диска реле начинается с момента, когда ток в катушке реле превысит 25% тока соответствующей уставки. При повышении тока с помощью нагрузочного устройства следует определять ток трогания не по моменту замыкания контактов реле и, следовательно, загоранию лампочки, а по моменту зацепления червяка с зубчатым сегментом (рис. 308). Для этого следует одному лицу поднимать ток в катушке реле с помощью нагрузочного устройства и наблюдать за амперметром, а второму наблюдать за моментом трогания (или отпадания) реле и сигнализировать о моменте зацепления (или расцепления) червяка с зубчаткой (по амперметру можно наблюдать в этот момент толчок стрелки).

Проверка производится на всем диапазоне шкалы тока. Затем производится аналогичная проверка по шкале отсечки; в этом случае ток трогания определится по моменту загорания лампочки, а ток возврата по ее потуханию. Так как при проверке шкалы отсечки подается большой ток и обмотка реле быстро нагревается, следует ток подавать кратковременно и делать соответствующие паузы между измерениями.

Следующим этапом проверки является снятие характеристики реле, определение зависимости времени от тока (рис. 308, *в*), т. е. $t=f(I)$. Для снятия характеристики собирается схема по рис. 323. Перед снятием характеристики регулятор отсечки ставится на максимальный предел. С помощью штепселя сперва задается уставка по шкале тока, затем производится регулировка уставки по шкале времени. Нагрузочным устройством поднимается ток до величины, равной номинальному току (току уставки по шкале). После этого отключают рубильник *1*, возвращают кнопкой стрелку электрического секундомера на нуль. Этой операцией схема будет подготовлена к снятию первой точки характеристики. Включают рубильник *1*, подавая установленный ток, равный номинальному, в

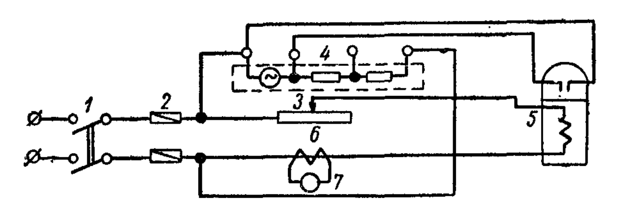


Рис. 323. Схема для снятия характеристики максимально токового реле ИТ-80:

1 — двухполюсный рубильник, *2* — предохранители, *3* — реостат, *4* — электрический секундомер, *5* — испытуемое реле, *6* — трансформатор тока, *7* — амперметр

катушку реле. Одновременно с включением рубильника включается электрический секундомер и двигатель приводит в действие механизмы времени.

Во время срабатывания реле контакты замкнутся и зашунтируют якорь двигателя, механизм остановится и зафиксирует время от начала подачи импульса до времени срабатывания реле. Затем на этой же уставке повторяются операции при токе: 1,5 $I_{уст}$; 2 $I_{уст}$; 3 $I_{уст}$; 5 $I_{уст}$; 7 $I_{уст}$; 10 $I_{уст}$. Величина тока устанавливается по амперметру, причем во избежание сильного перегрева катушки реле следует делать паузы, особенно при снятии характеристики на высших пределах уставок по току. Измерение по электрическому секундомеру следует на каждом пределе делать три раза и заносить в протокол среднюю арифметическую величину времени. Снятая характеристика сравнивается с характеристикой при испытании реле на заводе.

После снятия всех характеристик устанавливается проектная уставка по шкале отсечки, производится контрольное измерение тока трогания и тока возврата, определяется коэффициент возврата реле на проектной уставке, устанавливается и проверяется проектная уставка по времени. Все данные заносятся в протокол, и реле пломбируется.

Проверка электрических характеристик промежуточных реле и реле времени. При новом включении определяется напряжение или ток срабатывания всех промежуточных и сигнальных реле.

Напряжение или ток срабатывания и возврата реле является основной электрической величиной, определяющей исправность реле и правильность его регулировки.

Снижение напряжения срабатывания у большинства промежуточных реле достигается ослаблением противодействующей (возвратной) пружины или уменьшением начального зазора между якорем и сердечником реле. Следует иметь в виду, что ослабление пружины уменьшает надежность замыкания НЗ контактов и создает возможность ложной работы реле от толчков и сотрясений.

Низкое напряжение срабатывания увеличивает возможность ложной работы реле при замыканиях на землю в цепях постоянного тока. По этим соображениям устанавливается напряжение срабатывания реле в пределах 60—70% номинального, допуская меньшее значение для кодовых реле завода «Трансвязь».

Напряжение и ток возврата промежуточных реле не нормированы. Поэтому основным требованием является четкий возврат реле при полном снятии с него напряжения.

Для промежуточных реле, включенных через добавочное сопротивление, напряжение срабатывания и возврата при новом включении, проверяется вместе с сопротивлением и без него.

Для сигнальных реле с последовательной обмоткой ток срабатывания обычно не превышает 80% номинального, указанного в паспорте реле.

Если при проверке обнаруживается резкое отличие напряжения или тока срабатывания от средних, нормальных значений для данного типа реле, то это указывает на неисправность реле или его неправильную регулировку. Пониженное напряжение или ток срабатывания обычно вызываются чрезмерным ослаблением возвратной пружины. Повышенное напряжение или ток срабатывания указывают на чрезмерную затяжку возвратной пружины, неправильную сборку движущихся частей реле, обрыв параллельной ветви при намотке катушки в несколько проводов, закорачивание части витков, установку в реле обмотки на более высокое номинальное напряжение или ток. Во всех таких случаях необходимо в первую очередь определить, чем вызваны обнаруженные отклонения. Для этого определяется сопротивление обмотки реле мостом.

Результаты измерений сравниваются с расчетными заводскими данными. Обмотку можно считать исправной, если ее измеренное сопротивление отличается от заводских данных не

более чем на ±10% при диаметре провода до 0,16 *мм*; ±7% при диаметре 0,17—0,25 *мм* и ±5% при диаметре более 0,25 *мм*. Совпадение результатов измерений с заводскими данными указывает на исправность механизма реле. Особо следует отметить случаи, когда последовательно с обмоткой промежуточного реле включено сигнальное реле. В этих случаях при 80% номинального напряжения оперативного тока должны четко работать оба реле.

Необходимо различать номинальное напряжение или ток реле, указанные в его паспорте, и нормальное напряжение оперативного тока на данной станции или подстанции, так как могут устанавливаться реле с номинальным напряжением, меньшим, чем нормальное напряжение оперативного тока.

Поэтому напряжение срабатывания отдельного реле в процентах должно вычисляться относительно напряжения, указанного в его паспорте, а 80% напряжения для проверки взаимодействия схемы или определения напряжения срабатывания последовательно включенных реле должны вычисляться от среднего напряжения оперативного тока данной подстанции или станции.

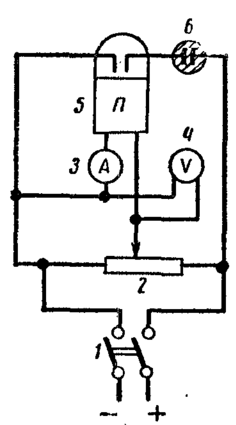


Рис. 324. Схема проверки напряжения срабатывания реле:

1 — рубильник, *2* — потенциометр, *3* — амперметр, *4* — вольтметр, *5* — промежуточное реле, *6* — неоновая лампа

Для определения напряжения срабатывания и сопротивления реле с параллельной обмоткой собирается схема согласно рис. 324, для определения тока срабатывания и сопротивления реле с последовательной обмоткой — схема, показанная на рис. 325. Эта схема собирается из тех же элементов, что и предыдущая.

Пределы измерения приборов и сопротивление реостата или потенциометра подбираются для каждого случая в зависимости от напряжения питания и параметров реле. Сопротивление реостата ориентировочно можно определить по формуле

$$R = (1{,}5 \div 2)\frac{U_п}{I_{ср}},$$

где R — сопротивление реостата;

$U_п$ — напряжение питания;

$I_{ср}$ — ток срабатывания реле.

Обычно сопротивление потенциометра выбирается порядка 1 *ом* на каждый вольт напряжения питания.

Выбранный по этому условию потенциометр должен выдерживать ток не менее

$$I = \frac{U_п}{R_р},$$

где $R_р$ — сопротивление проверяемого реле.

Реостат должен выдерживать ток не менее $(1,5 \div 2)\ I_{ср}$.

У реле, имеющих несколько обмоток — параллельных или последовательных, определяются однополярные выводы. Для этого определяются ток или напряжение срабатывания реле по схемам рис. 324 или 325. Затем в одну из обмоток подается ток или напряжение, близкие к номинальному, и в этом режиме определяется ток или напряжение срабатывания второй обмотки. Если новые значения величины срабатывания будут меньше, то

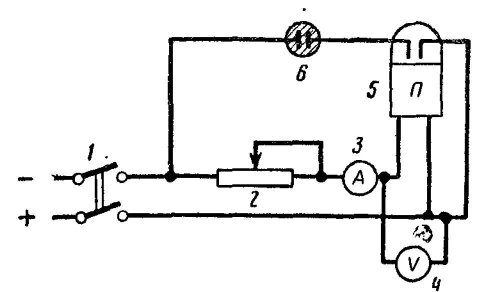


Рис. 325. Схема проверки тока срабатывания реле (обозначения — см. рис. 324).

однополярными будут выводы обмоток, соединенные с одноименными полюсами источника питания. Однополярные выводы обозначаются одинаково, знаком (*).

Время срабатывания реле определяется по схемам (рис. 326).

В схеме на рис. 326, *а* положение контактов реле указано при включенном рубильнике *1*. При отключении рубильника *1* снимается напряжение с реле *3* и пускается секундомер *2*, останавливающийся при срабатывании реле.

В схеме на рис. 326, *б* включением рубильника *1* подается напряжение на реле и одновременно пускается секундомер *2*, останавливаемый контактами реле при его срабатывании; положение контактов реле *3* на этих схемах указано при отключенном рубильнике.

В указанных схемах для измерения времени работы реле используется обычный электрический секундомер. Следует учитывать, что обычные секундомеры при измерениях времени ме-

нее 0,1—0,15 *сек* могут давать значительные погрешности. Поэтому для измерения времени действия менее 0,1 *сек* рекомендуется пользоваться миллисекундомером, например, типа

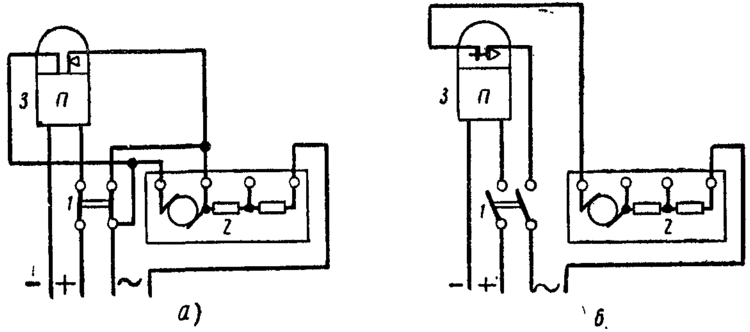


Рис. 326. Схемы проверки времени срабатывания реле с помощью электрического секундомера:

а — при включенном рубильнике, *б* — при отключенном рубильнике; *1* — рубильник, *2* — электрический секундомер, *3* — испытуемое промежуточное реле

ЭМС-54 завода «Энергоприбор». На рис. 327 дана схема для измерения времени миллисекундомером.

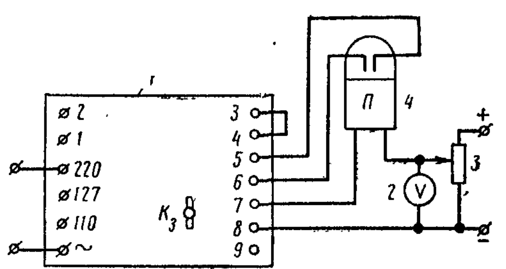


Рис. 327. Схема проверки времени срабатывания реле с помощью миллисекундомера:

1 — миллисекундомер, *2* — вольтметр, *3* — потенциометр, *4* — промежуточное реле, $К_з$ — ключ

П р о в е р к а   в з а и м о д е й с т в и я   р е л е   в   п о л н о й   с х е м е   п р и   н о р м а л ь н о м   и   п о н и ж е н н о м   н а п р я ж е н и и. Проверка правильности взаимодействия реле в схеме защиты или автоматики выполняется для того, чтобы установить правильность фактического выполнения схемы защиты или автоматики при новом включении; отсутствие обрывов цепей в схеме; отсутствие обходных цепей в схеме; правильность настройки отдельных реле защиты; надежность замыкания контактов реле; выпадение флажков сигнальных реле.

Проверка взаимодействия производится после окончания механической и электрической проверки отдельных реле. Регулировку реле после этой проверки производить не следует. Проверка взаимодействия реле в схеме защиты производится при напряжении постоянного тока, равном 80% нормального напряжения — при новом включении и плановой проверке. При

частичных проверках испытание производится нормальным напряжением.

Проверка взаимодействия производится, как правило, замыканием и размыканием от руки контактов реле в необходимых комбинациях, наблюдением за работой схемы и сопоставлением фактической последовательности работы с последовательностью при имитируемых условиях в соответствии с принципиальной схемой проверяемой защиты и автоматики.

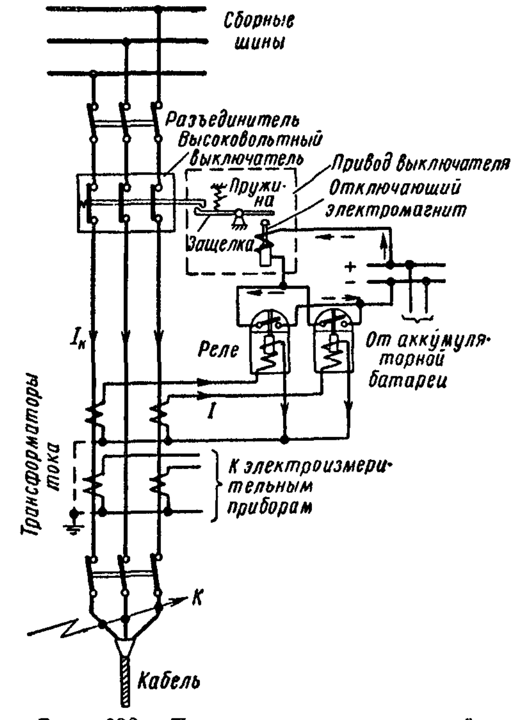


Рис. 328. Принципиальная трехлинейная схема устройства максимальной токовой защиты

Для общего представления о взаимодействиях реле в схемах защиты приведем в виде примера принципиальную трехлинейную схему устройства максимальной токовой защиты отходящей линии (рис. 328). Обмотки реле присоединены к вторичным обмоткам трансформаторов тока, поэтому в нормальном режиме ток в обмотках реле не превышает 5 *а* и сердечники реле не могут втянуться и замкнуть контакты. При коротком замыкании в точке *К* в первичной цепи возникает ток короткого замыкания, в несколько раз превышающий рабочий ток цепи. При этом значительно увеличивается ток во вторичных обмотках трансформаторов тока и обмотках реле, вследствие чего сердечники втягиваются и замыкают контакты. Через контакты замыкается цепь постоянного тока отключающего электромагнита привода выключателя (протекание тока через контакты одного реле показано пунктирными стрелками), его сердечник втягивается и своим ударником смещает запорную защелку привода. При этом выключатель под действием отключающего устройства отключается и тем самым отключает линию, в которой произошло короткое замыкание.

В сетях с незаземленной нейтралью при замыкании одной фазы на землю через место повреждения протекает ток, величина которого определяется емкостью фаз по отношению к земле электрически связанной сети. Обычно этот ток невелик и, как правило, меньше тока срабатывания максимальной токовой защиты от междуфазных коротких замыканий. В связи с этим в сетях с незаземленной нейтралью устанавливают специальную защиту, реагирующую на замыкания одной фазы на землю, или вместо защиты предусматривают специальные устройства, контролирующие состояние изоляции сети по отношению к земле и действующие на сигнал при замыкании одной фазы на землю.

Специальную защиту от однофазных замыканий на землю устанавливают в сложных разветвленных сетях. Защиту в большинстве случаев выполняют с действием на сигнал, а в кабельных линиях — при помощи специального кабельного трансформатора тока (трансформатором тока нулевой последовательности).

Трансформатор тока нулевой последовательности состоит из сердечника кольцеобразной или прямоугольной формы, который надевают на трехжильный кабель защищаемой линии (рис. 329, *а*) и вторичной обмотки, к которой присоединяют токовое реле. Первичной обмоткой служит кабель.

В нормальных условиях, а также при трех- и двухфазных коротких замыканиях геометрическую сумму токов трех фаз кабеля практически можно считать равной нулю, и через реле ток не протекает. При однофазном замыкании на землю симметрия токов кабеля нарушается, в сердечнике появляется магнитный поток, который, наводя во вторичной обмотке э. д. с., вызывает протекание токов через обмотку реле.

Для защиты кабельных линий заводы отечественной промышленности изготовляют трансформаторы тока нулевой последовательности типов: ТЗР (разъемный), ТЗ, ТНП и ТНП-Ш (неразъемные). Ток срабатывания защиты от замыканий на землю выбирают, исходя из условий избирательности и чувствительности.

Трансформаторы тока нулевой последовательности позволяют выполнить защиту от однофазных замыканий на землю большой чувствительности, действующей в случае необходимости при протекании в первичной цепи малого тока однофазного замыкания на землю (величиной в несколько ампер).

Возможность выполнения защиты большой чувствительности позволила применить трансформаторы тока нулевой последовательности для защиты от однофазных замыканий на землю синхронных генераторов, работающих на сборные шины. На рис. 329, *б, 1* показано выполнение защиты, когда генера-

тор связан с шинами несколькими кабелями, а на рис. 329, *б*, *2* — когда генератор связан с шинами голыми токопроводами. В первом случае трансформатор тока охватывает все кабели, соединяющие генератор со сборными шинами, а во втором случае — все три фазы голого токопровода. В обоих случаях защита при однофазном замыкании на землю в обмотке статора генератора или на участке между генератором и трансформатором тока нулевой последовательности срабатывает,

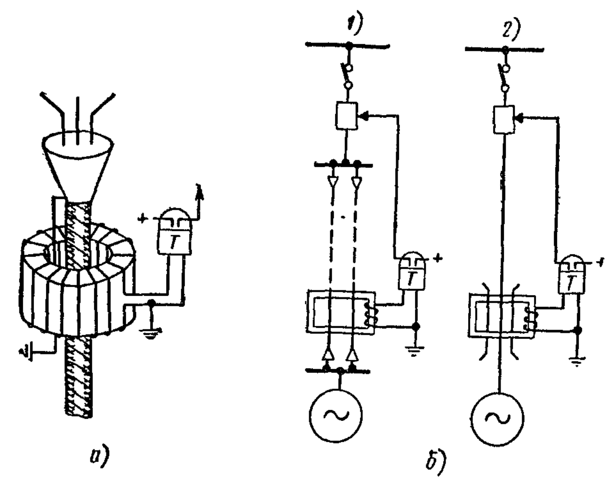


Рис. 329. Защиты от однофазных замыканий на землю при помощи трансформатора тока нулевой последовательности:

а — установка трансформатора тока нулевой последовательности на кабельной линии; *б*, *1* — генератор связан с шинами при помощи кабелей; *б*, *2* — генератор связан с шинами голыми токопроводами

действуя на отключение выключателя генератора. Защита от однофазных замыканий на землю устанавливается на генераторах в тех случаях, когда емкостный ток замыкания на землю $I_з \geqslant 5$ *а*.

Защиту от однофазных замыканий на землю синхронных компенсаторов выполняют подобным же образом.

§ 4. ЗАЩИТА НА ОПЕРАТИВНОМ ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ

В электроустановках наряду с оперативным постоянным током в настоящее время внедряется оперативный переменный ток для управления, сигнализации, релейной защиты и автоматики. Он имеет ряд технико-экономических преимуществ по сравнению с постоянным оперативным током.

Переменный оперативный ток позволяет отказаться от независимого источника питания (аккумуляторной батареи, двигателя-генератора) и от необходимости иметь общую электрически связанную сеть оперативного тока.

Переменный оперативный ток позволяет применять безрелейные схемы для максимальных и дифференциальных защит,

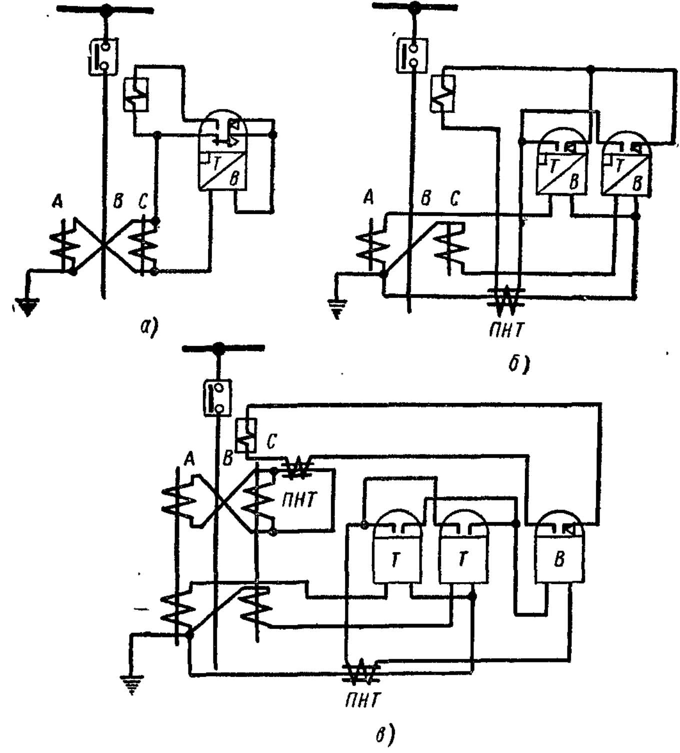


Рис. 330. Принципиальные схемы устройства релейной защиты на переменном оперативном токе:

а — с одним реле максимального тока ИТ-85, *б* — с двумя реле максимального тока ИТ-85, *в* — с двумя мгновенно-токовыми реле ЭТ-521 и одним реле времени

Все это снижает стоимость и повышает надежность работы электроустановок (исключает ложные действия защиты и автоматики из-за переходных явлений, двойных замыканий на землю, обходных цепей и т. д.).

Переменный оперативный ток имеет преимущества и в отношении эксплуатации установок: отпадает необходимость в постоянном контроле за аккумуляторными батареями и появляется возможность эксплуатации подстанций без постоянного де-

журного персонала. В Азэнерго, где на переменном оперативном токе работает около 700 комплектов защит, без постоянного дежурного персонала эксплуатируется более 100 подстанций.

В МКС Мосэнерго эксплуатируется более 2500 комплектов защит на переменном оперативном токе.

Как показал опыт эксплуатации, немногочисленные случаи неправильной работы этих защит не были связаны с применением переменного оперативного тока.

В качестве источников переменного тока применяются: насыщающиеся трансформаторы (ПНТ) или автотрансформаторы (ПНА); комбинированные устройства для получения выпрямленного тока от трансформаторов тока и напряжения; конденсаторные устройства. В большинстве случаев применяются насыщающиеся трансформаторы ТКБ-1 с числом витков вторичной обмотки меньшим, чем у первичной ($W_1=101/81$ витков, $W_2=70$ витков).

Для иллюстрации приводятся выполненные схемы релейной защиты на оперативном переменном токе с одним реле максимального тока типа ИТ-85 (рис. 330, *а*); с двумя реле максимального тока типа ИТ-85 (рис. 330, *б*) и с двумя мгновенно-токовыми реле типа ЭТ-521 и одним реле времени (рис. 330, *в*). На переменном оперативном токе применяются и более сложные схемы защиты силовых трансформаторов и отходящих линий.

§ 5. КОМПЛЕКТНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРОВЕРКИ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ

Основные требования к комплектным устройствам. При проверке и регулировке аппаратуры релейной защиты и автоматики для ускорения работ и уменьшения возможности ошибок при их выполнении применяются комплектные испытательные устройства различных конструкций и схем.

Комплектные устройства выполняются переносными в виде чемоданов и стационарными — в виде лабораторных стендов.

«Чемоданы» должны иметь небольшие вес и размеры (10—15 *кг* и не более 750×500×250 *мм*), чтобы они легко переносились одним человеком на несколько сот метров.

Комплектные устройства должны иметь комплект проводов для соединения с панелью защиты и подачи питания от постороннего источника. Сечение этих проводов в цепях напряжения должно быть 1—1,5 $мм^2$ и для токовых цепей — не менее 2,5—4 $мм^2$. Для подачи питания сечение проводов принимается 4—6 $мм^2$. Провода должны иметь надежную и механически проч-

ную изоляцию, особенно для работы в сырых и загроможденных помещениях, с обоих концов маркировку и наконечники, конструкция которых по размерам и форме пригодна для присоединения к входным зажимам панели защиты и выходным зажимам устройства.

В комплектном устройстве должна быть полностью смонтирована вся аппаратура и схема для проверки наиболее часто встречающихся типов защиты. Аппаратуру, которая требуется сравнительно редко (например, фазорегулятор), а также тяжелую и громоздкую аппаратуру выгоднее иметь в виде отдельной приставки, питающейся через основное устройство.

Все включения и отключения испытательной схемы, переход от одной схемы к другой, переход от одной фазы проверяемой защиты к другой и т. д. должны производиться соответствующими переключателями внутри самого устройства и по возможности внутри панели защиты без пересоединений проводов между панелью и устройством.

Устройство должно обеспечивать регулировку, измерение и поддержание в необходимых пределах заданной величины тока, напряжения, угла между током и напряжением. Можно рекомендовать следующие средние пределы регулирования, пригодные для большинства защит: по постоянному току от 0,5 до 5—10 *а*; по постоянному напряжению от 0 до 110—220 *в*; по переменному току от 1—2 до 50—70 *а*; по переменному напряжению от 0 до 100 *в*; для проверки контакторов, магнитных пускателей и другой подобной аппаратуры до 380—500 *в*.

Для проверки защит и трансформаторов тока первичным током желательно иметь отдельный нагрузочный трансформатор на вторичный ток до 500—1000 *а* и вторичное напряжение не менее 15—30 *в*.

Устройство должно давать на выходе ток или напряжение с наименьшим искажением формы кривой. Особенно важно это при проверке некоторых современных реле с быстронасыщающимися трансформаторами (ЭТ с ВНТ-561, РИТ-562).

Все рукоятки управления и зажимы для присоединения проводов и приборов должны иметь четкие надписи. К каждому устройству должна быть приложена его полная схема и подробная инструкция по работе с ним.

Если все защиты на налаживаемом объекте выполнены на постоянном оперативном токе, то в комплектных устройствах удобно использовать реостаты и потенциометры. В таком исполнении они пригодны для проверки как переменного, так и постоянного тока. Если же защита выполнена исключительно на переменном оперативном токе, то в комплектных устройствах удобнее применять автотрансформаторы, например ЛАТР. Реостаты целесообразно использовать на токи порядка 50—70 *а*, так как реостаты на большие токи слишком громозд-

ки; в последнем случае удобнее применять небольшие нагрузочные трансформаторы.

В качестве маломощных нагрузочных трансформаторов широко применяют понижающие трансформаторы ТБ и ТПБ или специальные нагрузочные трансформаторы. Цепи секундомера удобно питать через разделительный трансформатор мощностью 15—20 *вт*.

Чтобы иметь возможность проверить выдержку времени реле с проскальзывающим контактом и измерить полное время на выходе панели более сложных защит, в комплексное устройство встраивается быстродействующее кодовое реле типа КДР (рис. 291), обмотка которого включается в схему защиты. Один из контактов реле останавливает секундомер, другой замыкает цепь самоудерживания катушки реле.

Для измерения времени обычно применяют электрический секундомер ПВ-52. Точность его вполне достаточна для проверки защиты (от 0,01 до 10 *сек*). Основным его недостатком является отказ в работе при пониженном напряжении или низкой окружающей температуре (напряжение питания 110/220 *в* частотой 50 *гц*). Для улучшения работы секундомера при низких напряжениях на него подают повышенное напряжение. Поэтому разделительный трансформатор для питания секундомера выполняют с отпайками, с помощью которых можно менять напряжение на секундомере. Для более точных измерений времени срабатывания и возврата реле в пределах измерения от 25 до 500 *мсек* применяют электронный миллисекундомер ЭМС-54. Напряжение питания миллисекундомера составляет 110, 127 и 220 *в*.

Для встраивания в комплектные устройства наиболее подходят малогабаритные магнитоэлектрические приборы, которые в цепях переменного тока включаются через выпрямитель. Точность измерений такими приборами обычно бывает порядка 5—10%.

Лабораторный стенд РМЗ Латвэнерго (рис. 331). Стенд имеет цепи переменного и постоянного тока с плавной регулировкой тока и напряжения. В трехфазных цепях переменного тока предусмотрена регулировка тока от 0 до 50 *а*, при параллельном включении до 100 *а*; напряжение регулируется от 0 до 220 *в*. В цепях постоянного тока введена плавная регулировка тока от 1 до 20 *а* и напряжения до 220 *в*.

С помощью фазорегулятора плавно регулируется сдвиг фаз. Фазорегулятор можно переключать на работу в качестве потенциал-регулятора с изменением напряжения от 0 до 400 *в*. Посредством специальных переключателей испытуемое реле присоединяют поочередно к различным фазам, а также производят реверсирование токов.

Стенд имеет устройства, позволяющие воспроизводить переход от нормального режима к аварийному для однофазных и двухфазных коротких замыканий, а также имитировать нагрузочный доаварийный режим. Стенд получает питание от трехфазной сети переменного тока 220/127 *в* и от сети постоянного тока 220 или 110 *в*. Габаритные размеры стенда составляют: основание 2250×1040 *мм*, высота 1900 *мм*.

Переносный сборно-разборный стенд отдела автоматики, телемеханики и пусконаладочных работ института «Гидроэнергопроект» Ми-

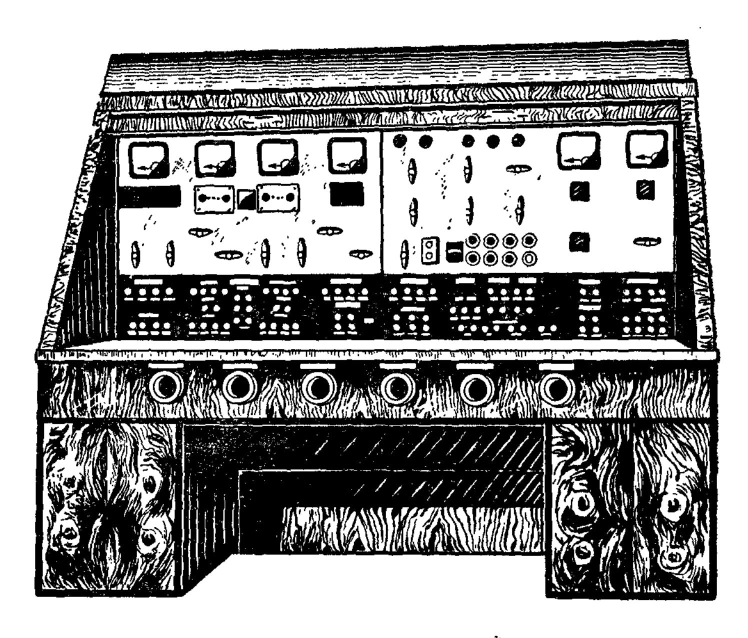


Рис. 331. Лабораторный стенд для проверки и регулировки релейной аппаратуры РМЗ Латвэнерго

нистерства строительства электростанций. Стенд предназначен для проведения проверок релейной и измерительной аппаратуры применительно к условиям производства пусконаладочных работ на электростанциях и подстанциях при строительстве объектов и монтаже оборудования.

Для удобства транспортировки стенд выполнен сборно-разборным и в транспортном виде представляет собой два чемодана размерами 754×504×379 *мм*, весом около 40 *кг* каждый. Общий вид конструкции сборно-разборного стенда в рабочем положении показан на рис. 332.

Схема стенда позволяет производить проверку: реле тока,

реле напряжения, реле с быстронасыщающимися трансформаторами, реле с тормозными обмотками, реле времени постоянного и переменного тока, промежуточных реле, реле с фазозависимой характеристикой (реле направления энергии, реле сопротивления), а также измерительных приборов — амперметров и вольтметров переменного тока, ваттметров активной и реактивной мощности по однофазной схеме, вольтметров и милливольтметров постоянного тока. Стенд обеспечивает возможность выполнения испытаний и настройки указанных реле, па-

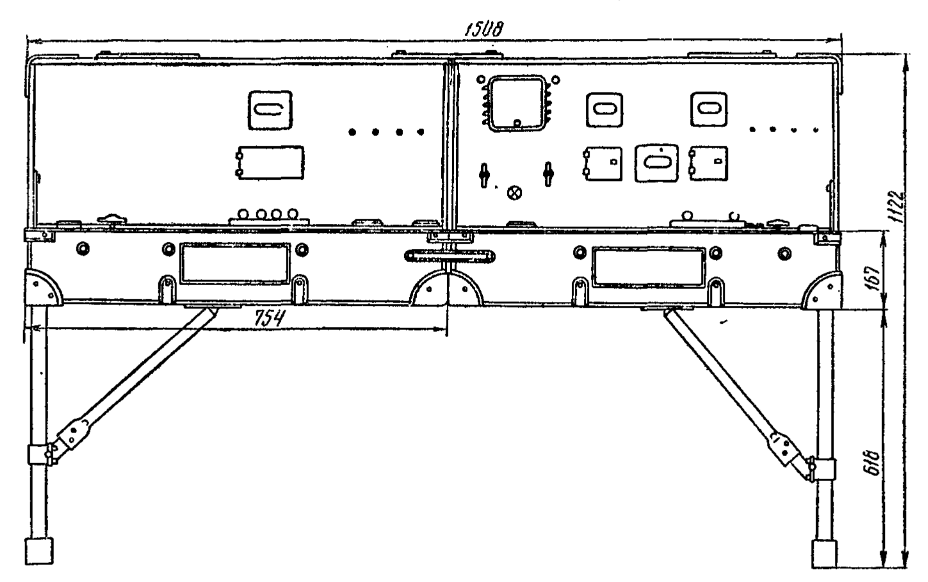


Рис. 332. Общий вид конструкции сборно-разборного стенда для проверки реле

нелей защиты и релейных схем однофазным переменным током до 100 *а* и напряжением переменного тока до 220 *в* с плавной регулировкой угла между током и напряжением от 0 до 360°, а также постоянным током до 4 *а* и напряжением постоянного тока до 220 *в*.

Питание стенда осуществляется от сети трехфазного переменного тока напряжением 380 *в* и от сети постоянного тока 110 *в* или 220 *в*.

Стенд выполнен в четырех отдельных ящиках — два вертикальных и два горизонтальных. На панелях вертикальных ящиков установлены сборки зажимов для присоединения питающих кабелей, переключатели и предохранители. В горизонтальных ящиках установлена пусковая и регулирующая аппаратура.

Стойки стенда упаковываются в специальные карманы, предусмотренные в вертикальных ящиках. В ящиках также находятся комплектующие изделия, скобы и штыри для соединения ящиков, кронштейны для крепления реле, соединительные концы.

В собранном виде размеры стенда составляют 1508×1122×716 *мм*. Площадь горизонтальной панели 1508×505 *мм*. Соединение вертикального и горизонтального ящиков производится с помощью крюков и скобок с задней стороны, крюков и специальных болтов с передней стороны. Стенд устанавливается на специальных стойках.

На вертикальной панели стенда располагаются переключатели цепей тока и напряжения, предохранители защиты в специальных углублениях, промежуточное реле и сигнальная лампа, причем последняя вместе с патроном может выниматься из гнезда и переноситься в любую часть стенда.

На горизонтальную панель стенда выведены рукоятки регулирующих устройств, оперативные ключи управления схемами и зажимами для присоединения реле и контрольных измерительных приборов.

Все дополнительные сопротивления схем установлены внутри ящиков.

Аппарат для проверки простых защит типа ИЗП-1 предназначен для проверки отдельных реле и простых релейных защит в однофазной схеме. Длительно допустимый ток через последнюю ступень реостата составляет 2,5 *а*, в течение 15 *сек* — 7 *а* и 1 *сек* — 10 *а*.

Напряжение питания: цепи нагрузки при переменном токе 100—240 *в*, при постоянном токе 43—240 *в*; блока измерения времени 110 или 220 *в*. Пределы регулирования тока в амперах: переменного от 0 до 100 и постоянного от 0 до 5. Габаритные размеры: 550×450×150 *мм*. Вес 22 *кг*.

§ 6. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И КОМПЛЕКТ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ НАЛАДКИ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ

Выбор и использование электроизмерительных приборов. Важную роль при проверке защиты играет правильный выбор и использование электроизмерительных приборов. Для большинства защит достаточную точность обеспечивают приборы класса 1—1,5.

Пределы измерений следует подбирать так, чтобы измеряемая величина находилась за пределами $^1/_3$ шкалы прибора.

Приборы следует устанавливать без наклона. Необходимо также учитывать температуру окружающей среды и оберегать приборы от влияния посторонних магнитных полей, в особенности при работах с большими токами.

Для сокращения количества измерительной аппаратуры следует широко применять переносные трансформаторы тока и многопредельные приборы.

Ампервольтваттметры Д501 электродинамической системы, экранированные, с непосредственным отсчетом предназначены для измерения тока, напряжения и мощности в однофазных цепях переменного тока частотой 50 *гц* и имеют класс

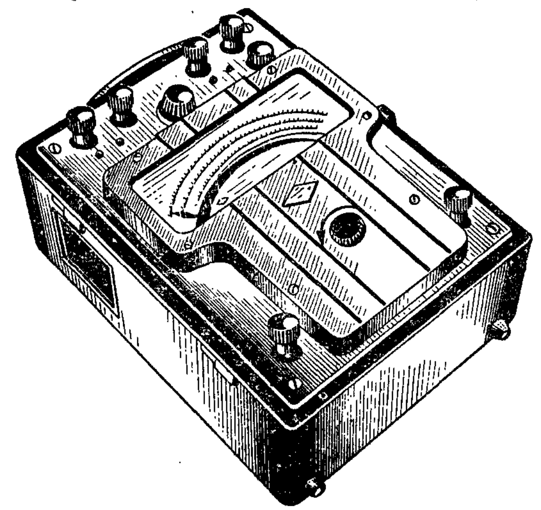


Рис. 333. Внешний вид прибора Д501

точности 1 и двухпредельное измерение по току 2,5 и 5 *а* и по напряжению 0—150—300 *в*. Пределы измерения по мощности соответствуют произведению тока на напряжение, и при коэффициенте мощности, равном единице, верхний предел измерения не превышает 1,5 *квт*. Внешний вид такого прибора приведен на рис. 333.

Универсальные ампервольтомметры Ц-51 многопредельной выпрямительной системы предназначены для измерения тока и напряжения в цепях постоянного и переменного тока частотой от 45 до 1000 *гц*, а также для измерения сопротивления постоянному току. Прибор имеет класс точности при измерении в цепях постоянного тока 1,0; в цепях переменного тока — 1,5 и 2,5. Для расширения пределов измерения прибор типа Ц-51 комплектуется с вспомогательными принадлежностями: двумя отдельными делителями напряжения типа Р515

и Р516, измерительным трансформатором тока типа И501 и отдельным калиброванным шунтом Р514. Прибор имеет 34 предела измерения на следующие номинальные значения: для постоянного тока 75 и 300 *мка*, для постоянного и переменного тока 3—15—30—150 *ма* и 1,5—15 *а*, для напряжения постоянного и переменного тока от 3 до 600 *в*, при измерении сопротивления постоянному току 3—300 *ком* и 3—30 *Мом*. Вес прибора составляет 4 *кг*. Внешний вид прибора типа Ц-51 приведен на рис. 334.

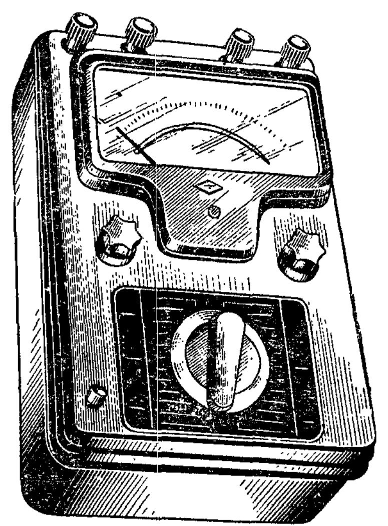


Рис. 334. Внешний вид прибора Ц-51

Вольтамперметр Д128 — переносный многопредельный комбинированный прибор ферродинамической системы с непосредственным отсчетом — предназначен для измерения тока и напряжения в цепях переменного тока частотой 50 *гц*. Класс точности прибора 1,5. Пределы измерения: по току от 2,5 до 50 *а*; по напряжению от 30 до 450 *в*. Вес 5,5 *кг*. Внешний вид прибора Д128 приведен на рис. 335.

Необходимо учитывать, что в приборах Ц-51, Ц-52 и аналогичных им применяется магнитоэлектрический прибор, включаемый в цепь переменного тока через полупроводниковые выпрямители. Все такие приборы градуируются при правильной синусоидальной форме кривой тока или напряжения. В цепях с искаженной формой кривой, например в цепях нагрузочных трансформаторов низкого напряжения, такие приборы могут давать значительные ошибки. Кроме того, при наладке применяются переносные фазометры, осциллографы, астатические амперметры и вольтметры класса точности 0,5.

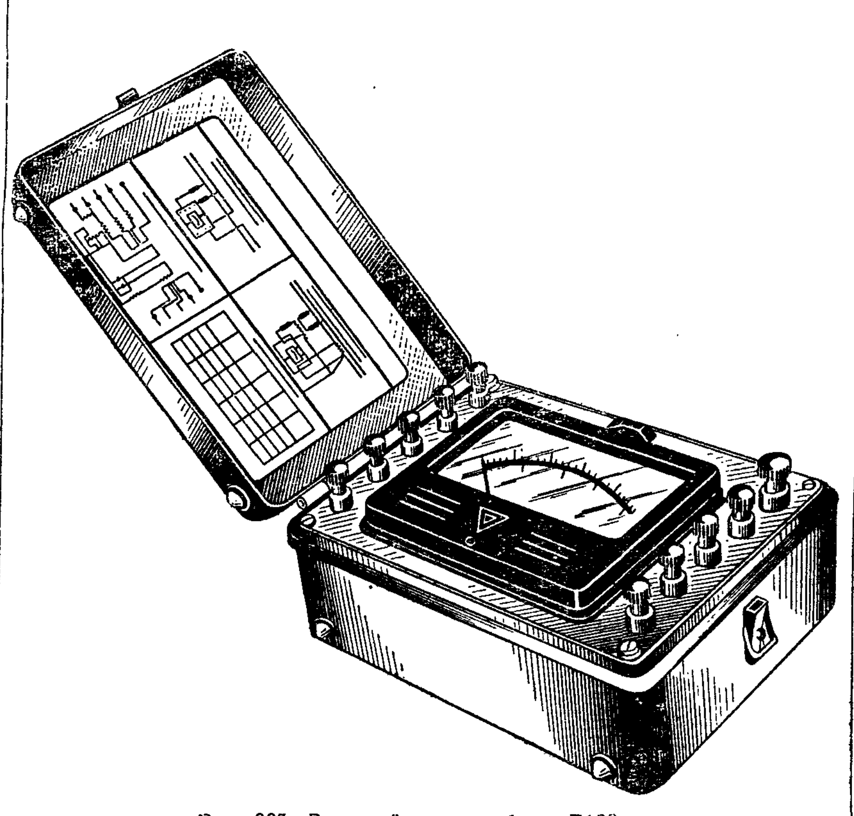


Рис. 335. Внешний вид прибора Д128

Комплект специализированного инструмента. Наряду с правильным подбором измерительной аппаратуры (измерительных трансформаторов тока и напряжения, измерительных приборов) необходимо иметь в своем распоряжении хороший набор инструментов и приспособлений.

На рис. 336 показан комплект специализированного инструмента, который предназначен для персонала, занятого наладкой аппаратуры релейной защиты и автоматики. Комплект собран в планшете с откидной крышкой. Внутри планшета в специальных гнездах помещены: рукоятка отвертки с головкой, имеющей шариковый замок для сменных отверток; 5 сменных отверток с лезвиями шириной 8, 7, 6, 5 и 4 *мм*; часовая отвертка; 6 двухстороиних плоских гаечных ключей под гайки 2, 3; 2, 6; 3; 4; 5 и 6 *мм*; 2 двухсторонних торцовых ключа под гайки 3, 4, 5 и 6 *мм* с воротком к ним; специальный плоский гаечный ключ для нижней гайки индукционных барабанчиковых систем; двухсторонняя рихтовка для контактных пружин реле; пинцет, надфиль; плоскогубцы с изолированными ручками; круглогубцы с изолированными ручками. Габаритные размеры планшета составляют 350×235×40 *мм*.

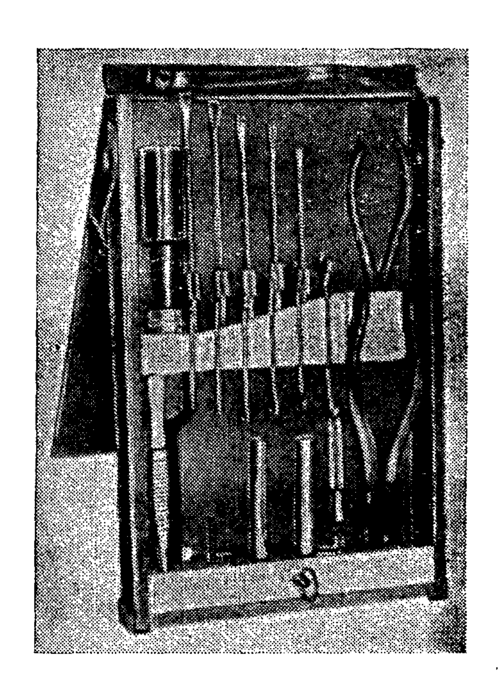


Рис. 336. Комплект специализированного инструмента

Испытательные блоки БИ-4 и ВИ-6 представляют собой четырех- или шестиполюсные штепсельные устройства, с помощью которых осуществляется присоединение защитных реле или электроизмерительных приборов. Испытательные блоки создают возможность легкого и быстрого производства осмотров, проверок и регулировок защитных реле и электроизмерительных приборов во время эксплуатации без каких бы то ни было переключений в контрольной проводке, на зажимах приборов и на сборных зажимах. Применением испытательного блока исключается возможность случайного отключения работающего объекта при производстве испытаний и ошибочных соедиıений

при восстановлении нормальной схемы после их окончания. Проведение испытаний и подготовка к ним сводятся к чрезвычайно простым операциям, занимающим минимум времени.

На рис. 337 показана схема испытания реле с помощью испытательного блока. Блок состоит из основания и съемной рабочей крышки, которая на время испытаний снимается. Вместо нее в основание вставляется контрольный штепсель, электрически соединенный со схемой для испытания. В условиях нормальной работы крышка надета (рис. 337, *а*) и короткое замыкание транс-

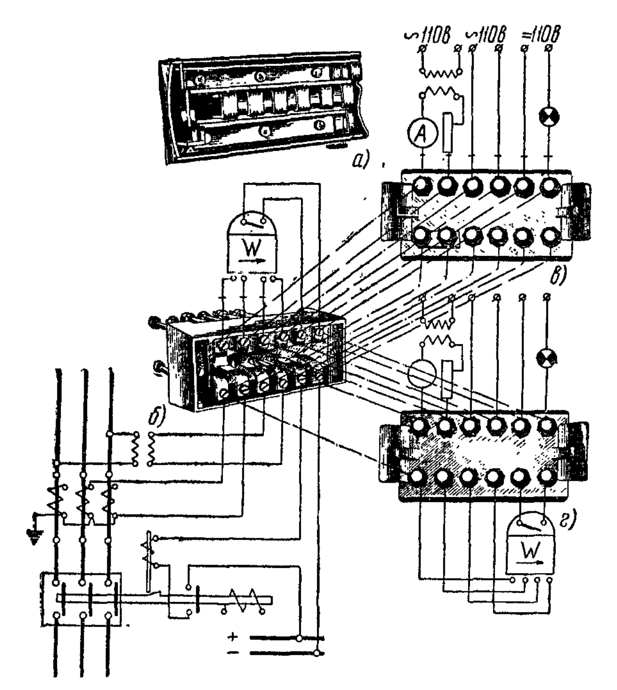


Рис. 337. Схема испытания реле с помощью испытательного блока

форматоров тока нарушается. Реле соединяется с соответствующей проводкой через контакты крышки, зажатые между контактами блока.

Крышка снята (рис. 337, *б*). Все цепи разомкнуты, реле изолировано, а трансформаторы тока замкнуты накоротко вспомогательными контактными пластинками. Каждый контакт контрольного штепселя, при введении его в блок, соприкасается с соответствующим контактом блока.

Для производства испытания реле оно отключается от контрольной проводки и соединяется через зажимы штепселя с испытательной установкой с независимым источником тока (рис. 337, *в*). Трансформаторы тока замыкаются накоротко перемычкой на зажимах штепселя, а проводка трансформаторов напряжения и проводка от цепи оперативного тока остаются отсоединенными.

На время испытания или ремонта реле оно заменяется резервным, присоединяемым через зажимы штепселя к трансформаторам тока и остальной контрольной проводке (рис. 337, *г*).

Испытательные блоки устанавливаются на лицевой стороне щита под обслуживаемыми ими реле. Каждый тип блоков изготовляется в двух вариантах: для присоединения проводов спереди и для присоединения проводов сзади.

§ 7. РЕЛЕ ДЛЯ СХЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

Классификация реле времени. Кроме реле, применяемых для релейной защиты и автоматизации генераторов, трансформаторов, линий и других элементов применяются также реле и другие аппараты во многих схемах защиты и контакторного управления электроприводов.

Эти реле по своей конструкции, принципам действия, параметрам и габаритам во многом отличаются от описанных выше релейных устройств. Весьма специфичные особенности имеют реле времени для электропривода.

Рассмотрим главные элементы этих реле.

Реле времени для электропривода разделяются по принципу действия на:

маятниковое реле времени, у которого выдержка времени создается при помощи маятникового (часового) механизма, приводимого в движение электромагнитом;

пневматическое реле времени, у которого выдержка времени создается за счет медленного заполнения воздухом камеры с мембраной, постепенно деформирующейся под действием внешней пружины и разности давлений снаружи и внутри камеры;

моторное реле времени, выдержка в котором создается за счет постепенного перемещения контактов синхронным двигателем малой мощности (через соответствующую передачу);

электронное реле времени, в котором выдержка времени создается за счет постепенного разряда конденсатора на сопротивление, включенное в цепь сетки электронной лампы;

электромагнитное реле времени, выдержка времени которого создается за счет замедленного увеличения или уменьшения магнитного потока в электромагнитной системе реле;

тепловое реле времени, в котором выдержка времени полу-

чается за счет тепловой инерции нагреваемых током элементов, воздействующих на механизм контактов реле;

тиратронное реле времени, выдержка времени у которого определяется временем заряда конденсатора через регулируемое сопротивление до потенциала, необходимого для зажигания холодного катода тиратрона.

Реле времени защитные применяются в цепях релейной защиты и сигнализации; реле времени управления — в цепях управления электропривода и др.

Реле бывают постоянного и переменного тока с плавной и ступенчатой регулировкой выдержки времени.

Ниже в качестве примеров приведены принципы действия наиболее распространенных конструкций реле, применяемых в электроприводах.

Маятниковое реле времени РВМ-2 с электромагнитным приводом обеспечивает выдержку времени от 2 до 10 *сек*, с точностью $\pm 10\%$ (рис. 338, *а*). На рис. 338 приведены внешний вид, кинематическая и электрическая схемы, поясняющие работу маятникового реле времени типа РВМ-2. При замыкании внешнего управляющего контакта *1* (рис. 338, *б*), включающего катушку *2* реле, якорь *3* реле втягивается, и коленчатый рычаг *4* поворачивается на оси *5* по часовой стрелке, сжимая пружину *6*. Рычаг *7* также начинает поворачиваться на оси *5* в том же направлении, так как его толкает сжатая пружина *6*. Косозубый сектор *8* при этом приводит во вращение зубчатое колесо *9* с косыми зубьями.

От этого колеса посредством зубчатой передачи приводится во вращение анкерное колесо *10*, которое поворачивается на один зуб при каждом колебании маятника *11*. Таким образом, скорость поворота рычага *7* замедляется. Когда сектор *8* пройдет весь путь зацепления с зубчатым колесом *9*, рычаг *7* быстро повернется и замкнет контакты *12*. Регулирование выдержки времени производится путем изменения положения груза маятника *11*, а также изменением длины хода сектора *8* при помощи упорного винта *13*. При отключении катушки *2* рычаг *7* под действием силы тяжести и пружины *6* возвращается в исходное положение, причем сектор *8*, несколько поворачиваясь вокруг оси *14*, отклоняется вверх.

Это вызывает расцепление сектора *8* с системой зубчатых колес, которая теперь не может мешать быстрому возвращению рычага *7* в первоначальное (исходное) положение. Помимо контактов *12*, срабатывающих с выдержкой времени, маятниковое реле имеет также контакты *15*, срабатывающие мгновенно при включении катушки. По номинальному напряжению втягивающей катушки реле рассчитаны на напряжение 12, 36, 127, 220, 380 и 500 *в* переменного тока. Длительный ток контактов составляет 12 *а*.

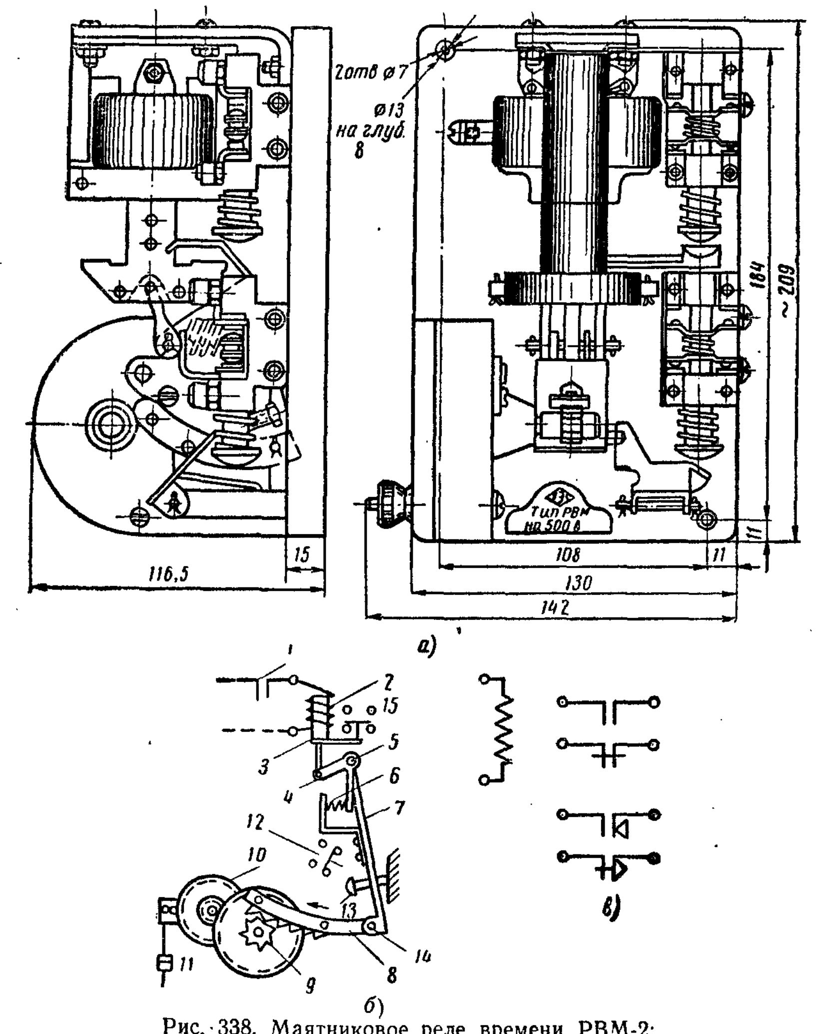


Рис. 338. Маятниковое реле времени РВМ-2:

а — внешний вид и габаритные размеры, *б* — кинематическая схема, *в* — электрическая схема обмотки и контактов реле

Электромагнитное реле времени постоянного тока типа РЭ-180 и ЭРЭ-180 применяются в схемах автоматического управления электроприводами постоянного тока в качестве реле времени или реле напряжения. На рис. 339 представлен общий вид и габаритные размеры электромагнитного реле времени типа РЭ-180 и ЭРЭ-180. Реле состоит из ярма *1*, выполненного из полосовой стали, катушки *2* со стальным круглым сердечником *3* и стального якоря *4*, установленного на призматической опоре. При прохождении тока через катушку *2* сердечник *3* намагничивается и притягивает якорь *4*, к которому со стороны сердечника прикреплена винтами немагнитная прокладка *5*, создающая между якорем *4* и сердечником *3* немагнитный зазор.

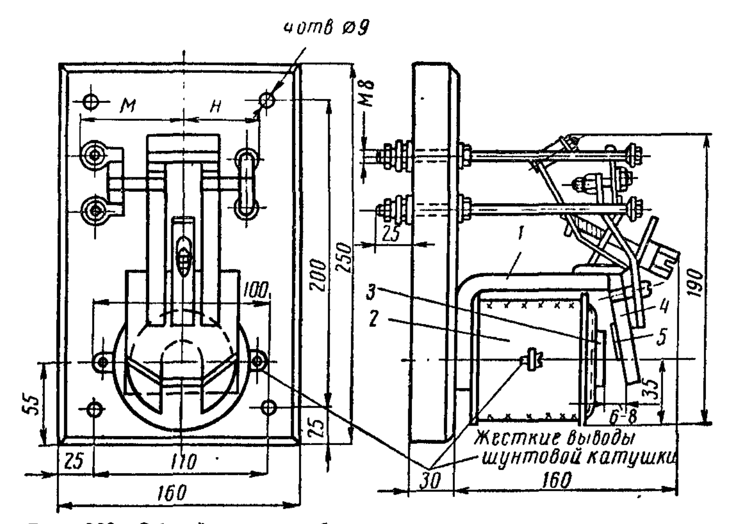


Рис. 339. Общий вид и габаритные размеры реле времени постоянного тока РЭ-180 и ЭРЭ-180

Для замедления отпадания якоря *4* на сердечнике *3* крепятся медные шайбы, образующие короткозамкнутые витки, замедляющие процесс спадания магнитного потока и создающие выдержку времени при отключении реле. Контакты реле мостикового типа. Команда на включение и отключение реле создается путем замыкания или размыкания цепи катушки или путем шунтирования и расшунтирования катушки при ее последовательном включении с сопротивлением. Регулировка выдержки времени осуществляется:

а) путем изменения толщины прокладки (грубая регулировка) согласно следующим данным:

толщина прокладки, *мм* 0,1; 0,2; 0,3
уставка времени, *сек* . . . . 2,5—5; 1,5—3; 1—2,5;

б) путем изменения нажатия пружины *6*, оттягивающей якорь (точная регулировка). С увеличением нажатия пружины уменьшается выдержка времени. Точность и неизменность уставки выдержки времени составляют ±10%. Втягивающие катушки выполняются на напряжение 110 и 220 *в*. Потребляемая мощность составляет 30 *вт*.

В схемах электропривода широкое применение нашли пневматические реле времени, обеспечивающие выдержки времени от 0,4 до 180 *сек*. На рис. 340, *а* представлен чертеж пневмати-

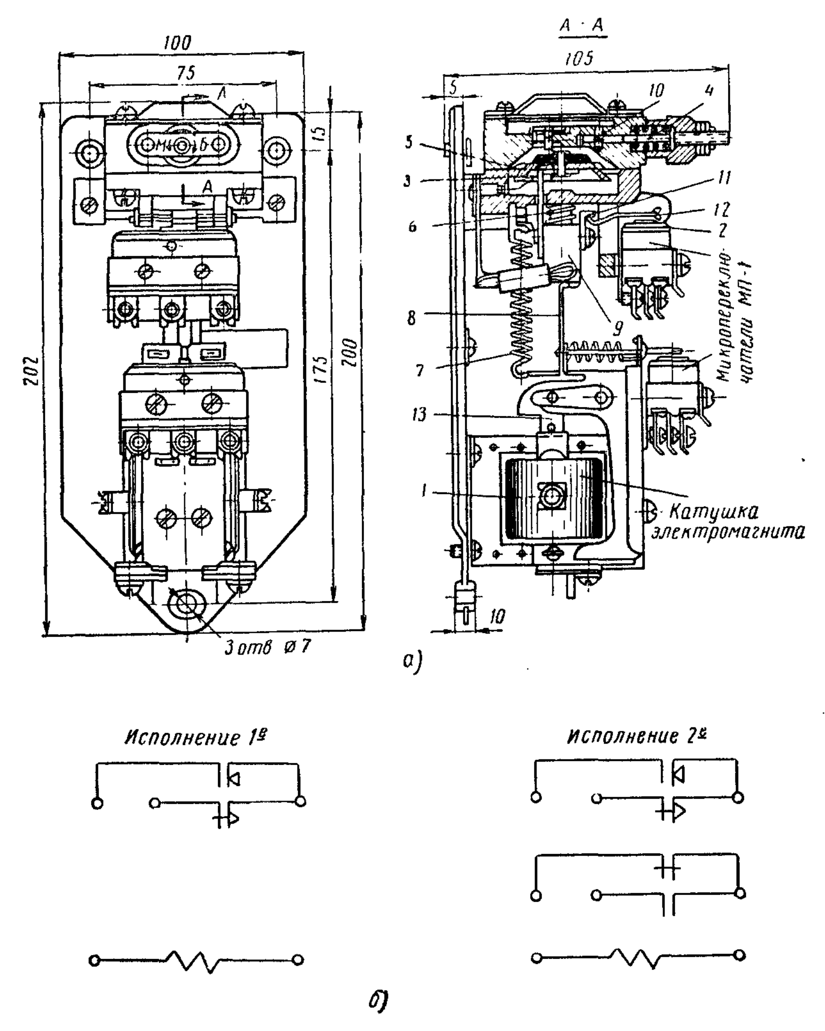
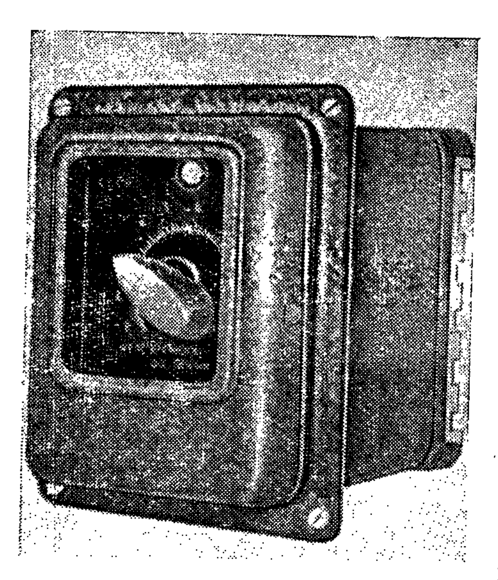


Рис. 340. Реле времени РВП-6:

а — внешний вид и габаритные размеры, *б* — электрические схемы

ческого реле времени типа РВП-6. При замыкании цепи катушки *1* электромагнита (рис. 340, *а, б*) якорь *13* втягивается в ярмо электромагнита и при этом перемещает нижний упор *8*, освобождающий колодку *9*. Первоначально, до включения, объем воздуха под поршнем и мембраной *5* был минимальным и давление по обе стороны поршня было одинаковым. После включения под действием пружины *6* освобожденный упором *8* поршень медленно перемещается вниз, так как в верхней полости камеры над поршнем давление воздуха стало меньше атмосферного, а внизу на поршень действует атмосферное давление, препятствуя его движению.


Рис. 341. Внешний вид тиратронного реле времени ВЛ1

Мгновенному заполнению воздухом верхней части камеры препятствует узкое отверстие со штифтом *4*, регулирующим скорость протекания воздуха в камеру через отверстие *10* и тем самым выдержку времени. При достижении колодки *9* нижнего положения скобой *11* нажимается рычаг *12* и, следовательно, штифт микропереключателя, в результате чего происходит его срабатывание.

При отключении катушки электромагнита якорь *13*, упор *8*, колодка *9* со скобой *11* и рычаг *12* занимают исходное положение; возвратная пружина *7* и пружина *6* выдержки времени сжаты, резиновая мембрана *5* растянута и занимает минимальный объем, рычаг *12* и штифт *2* микропереключателя освобождены от нажатия, поршень находится в крайнем верхнем положении.

Тиратронное реле времени типа ВЛ1 (рис. 341) используется в схемах автоматического управления для создания выдержки времени от 0,5 до 180 *сек* с максимальной погрешностью ±15% уставки. Номинальное напряжение составляет 127 или 220 *в* переменного тока. Реле имеет один нормально открытый НО или нормально закрытый контакт НЗ. Контакты реле рассчитаны на включение и отключение мощности 40 *вт*. Длительно допустимый ток через контакты составляет 3 *а*, вес реле не более 1,5 *кг*.

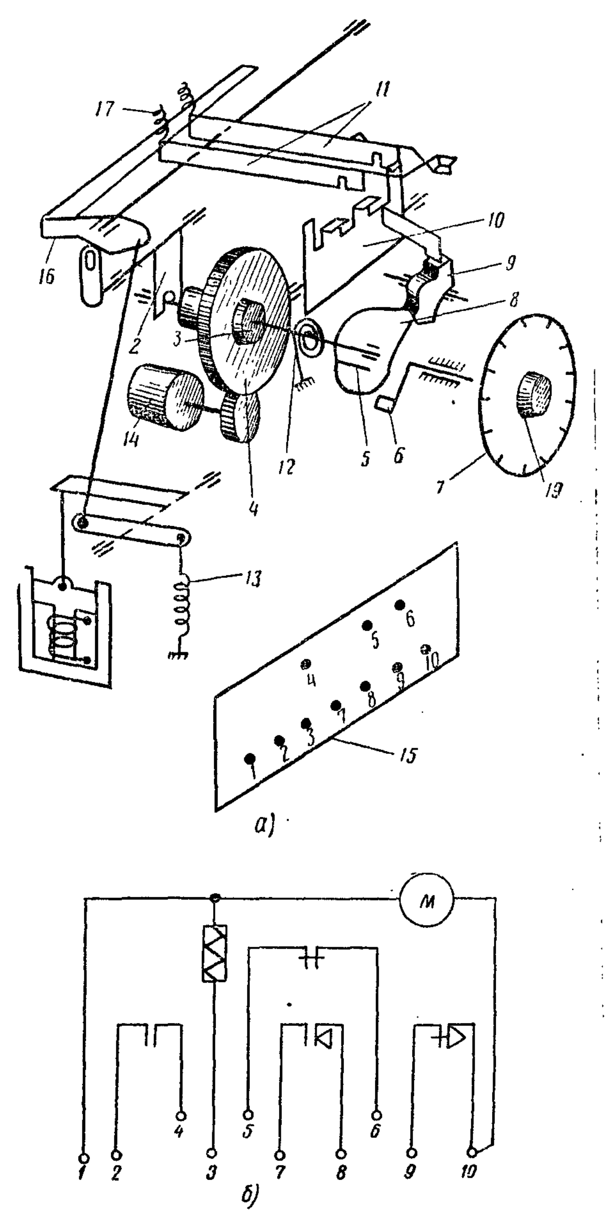


Рис. 342. Моторное реле времени РВ:
а — кинематическая схема, *б* — электрическая схема

Моторное реле времени типа РВ представляет собой реле переменного тока с синхронным микродвигателем СД. Действие кинематической схемы этого реле заключается в следующем (рис. 342).

Замыканием управляющего контакта включается электромагнит *1* и синхронный электродвигатель *14*. Якорь электромагнита через систему рычагов поворачивает коромысло *16* и толкатель *2*. Коромысло *16* поворачивает восемь контактных рычагов *11*. Таким образом, один НО и НЗ контакты переключаются без выдержки времени. Остальные контактные рычаги прижимаются к гребенке *10*. Одновременно толкатель *2* прижимает шестерню *4* редуктора к конусу сцепления *3* главного валика *18*, который через редуктор приводится в движение от двигателя *14*. На главном валике укреплен кулачок *8* с упором *5*. В исходном положении главный валик возвратной пружиной *12* прижимает упор *5* к пальцу *6*. При вращении главного валика кулачок *8* поворачивается и через некоторое время нажимает на рычаг *9*, а последний поворачивает гребенку *10*, которая скользит по поверхности контактных рычагов. Контактные рычаги имеют глубокие пазы, и при достижении гребенкой этих пазов контактные рычаги проваливаются. В результате чего происходит переключение одного НО и одного НЗ контактов с выдержкой времени. После размыкания управляющего контакта КУ электромагнит *1* отключается и реле возвращается в исходное положение пружинами *13* и *17*.

Время выдержки определяется длиной дуги, описываемой кулачком от упора *6* до нажима на рычаг *9*. Упор *6* связан со шкалой *7*, закрепляемой с лицевой стороны аппарата гайкой *19*. Вращение шкалы *7* меняет положение упора *6* и плавно изменяет величину выдержки. Шкала выдержки времени равномерная. Выводы двигателя и магнита присоединяются к сборке зажимов *15*.

§ 8. НАЛАДКА КОНТАКТОРНО-РЕЛЕЙНОЙ АППАРАТУРЫ

Общая часть. К таким аппаратам относятся электромагнитные контакторы, представляющие собой выключатель, приводимый в действие электромагнитным устройством, и магнитные пускатели. В схемах электропривода контакторы служат для дистанционного и автоматического включения и отключения пусковых и регулировочных сопротивлений, надежного отключения аварийных участков, включения тормозных электромагнитов и других вспомогательных устройств.

Электрические реле, воздействуя на катушки контакторов, производят автоматический равномерный разгон и торможение двигателя, включают с выдержками времени по заданному ре-

жиму вспомогательные устройства электропривода, осуществляют защиту от сверхтоков и перенапряжений, а также выполняют различные блокировочные операции в зависимости от времени, напряжения и тока. На рис. 343, *а* показан внешний вид электромагнитного контактора переменного тока типа КТЭ.

Основными элементами являются контакты и электромагниты. Электромагнитная система состоит из якоря *2*, сердечника *4* и катушки *3* и короткозамкнутого витка *5*. Главные контакты состоят из подвижного и неподвижного контактов; блок-контакты служат для различных блокировок и управления цепями автоматики и сигнализации; дугогасительные устройства состоят из камер с магнитным дутьем или с дугогасительными решетками, предназначаемыми для быстрого гашения дуги при размыкании контактов.

Контакторы с принудительным гашением электрической дуги предназначены для отключения силовых электрических цепей под нагрузкой; контакторы без принудительного гашения дуги — для отключения электрических цепей без нагрузки. Гашение дуги происходит в камерах из дугостойкого материала. В камеру встроена деионная решетка, состоящая из стальных омедненных пластин, изолированных друг от друга. Камеры отдельных полюсов соединены в один блок, поэтому снимаются и надеваются одновременно на все полюса. Для цепей сигнализации и блокировки в контактор могут быть встроены блок-контакты мостикового типа (рис. 343, *б*).

Контакторы и реле тщательно собирают и испытывают на заводах-изготовителях. Большинство аппаратов комплектуют в блоки и панели соответственно типовым или индивидуальным проектным схемам, а затем производят настройку реле и испытание блоков в целом.

Контакторно-релейная аппаратура, поступающая на монтаж, в ряде случаев нуждается в проверке и механической регулировке, так как во время транспортировки могут ослабнуть крепления, а при длительном хранении может образоваться коррозия, вызывающая заедание подвижных связей и нарушающая проводимость контактных поверхностей. Возможны также ошибки при сборке аппаратуры на заводе-изготовителе. Ослабление креплений приводит в эксплуатации к перекосам и быстрому износу деталей; нарушенные контактные поверхности перегреваются, коррозируют, оплавляются и в дальнейшем не могут быть восстановлены полностью даже путем зачистки бархатным напильником; при неправильно отрегулированных растворах и провалах контактов ухудшаются условия гашения дуги — уменьшаются срок службы аппаратуры и безотказность ее действия.

При первоначальной наладке новых аппаратов работа в основном сводится к проверке соответствия их техническим

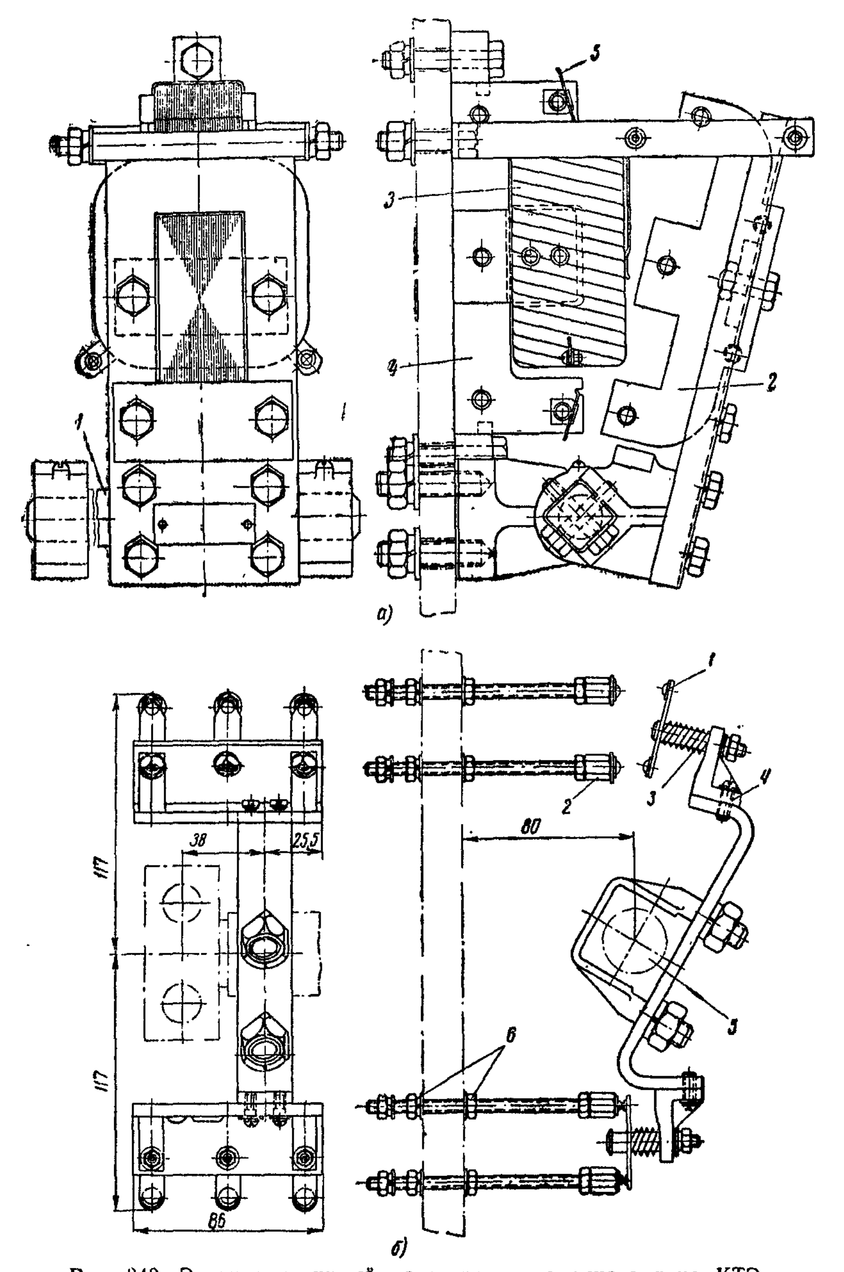


Рис. 343. Электромагнитный контактор переменного тока КТЭ:

а — электромагнитная система: *1* — вал контактора, *2* — якорь, *3* — катушка, *4* — сердечник, *5* — короткозамкнутый виток; *б* — блок-контакты: *1* — мостик блок-контакта, *2* — неподвижный контакт мостика, *3* — пружина блок-контакта, *4* — держатель контакта, *5* — валик привода контактного мостика, *6* — гайки для регулировки контактов

условиям: нажатий, провалов и растворов контактов, подбора пружин, а у реле — к настройке проектных уставок.

В объем работ по наладке контакторно-релейной аппаратуры, помимо описанных ниже, входят также следующие операции: определение минимального напряжения срабатывания и напряжения возврата; опробование дистанционного управления контактора или пускателя при пониженном напряжении (80%); регулировка механической части аппаратов; проверка и настройка их под током; проверка и регулировка схемы в период испытания при различных режимах работы.

Внешний осмотр. При внешнем осмотре проверяются: соответствие проекту типа аппарата и параметров втягивающей катушки; состояние главных и блокировочных контактов и их пружин; целость опорных призм или подшипника; наличие всех деталей магнитной системы и возвращающих пружин; состояние гибких соединений; состояние искрогасительных камер; наличие немагнитной прокладки и ее состояние; наличие крепежных болтов, гаек, плоских и пружинных шайб.

Проверка изоляции. Измерение сопротивления изоляции и проверка диэлектрической прочности изоляции катушек, контактов, контакторно-релейной и другой аппаратуры производятся мегомметрами М1101, МС-05 и др.

Изоляцию катушек и контакторов контакторно-релейной аппаратуры рекомендуется измерять совместно со схемой управления в целом; отключение отдельных аппаратов следует производить только в том случае, когда требуется отыскание участков схемы с пониженной изоляцией.

Сопротивление изоляции контактов и катушек аппаратов не нормируется и практически принимается не ниже 1 *Мом*.

Измерение сопротивлений постоянному току. Для проверки технических данных и целости шунтовых втягивающих и дугогасительных катушек производится измерение их сопротивлений постоянному току. Как правило, сопротивления шунтовых катушек лежат в пределах от нескольких десятков до нескольких тысяч *ом*; измерения достаточно производить с точностью до 2—5% с помощью омметра или мостами постоянного тока ММВ, УМВ и др.

При отсутствии специальных устройств измерение сопротивлений может быть произведено методом вольтметра-амперметра. При оценке результатов измерений сопротивлений катушек необходимо учитывать следующие важные факторы: испытуемый аппарат должен иметь катушку с обмоточными данными, близкими к номинальным, чтобы в случае перегорания катушки и замены ее новой не приходилось проверять и регулировать аппарат заново; катушки большинства аппаратов, работающих в повторно-кратковременном режиме эксплуатации, должны выдерживать длительное включение на рабочее напряжение

сети. В этом случае надо считать пригодными катушки с сопротивлением 90—115% номинального сопротивления.

Контакторно-релейная аппаратура, поступающая на монтаж, как правило, полностью отвечает каталожным техническим данным.

Обязанности наладчиков обычно сводятся к проверке растворов (кратчайшее расстояние между контактными поверхностями при разомкнутом положении контакторов, рис. 343, *б*), провалов и нажатий контактов, а также проверке затяжки гаек и винтов.

Регулировка и наладка контактов. Правильность работы контактов и жесткость пружин оцениваются при наладке и проверке путем сравнения с иными контакторами данного типа, но выборочно отдельные аппараты должны проходить полную проверку по описанной ниже методике.

Линейный контакт должен быть по всей ширине без просветов. Во время замыкания и размыкания должно происходить скольжение одного контакта относительно другого (перекатывание).

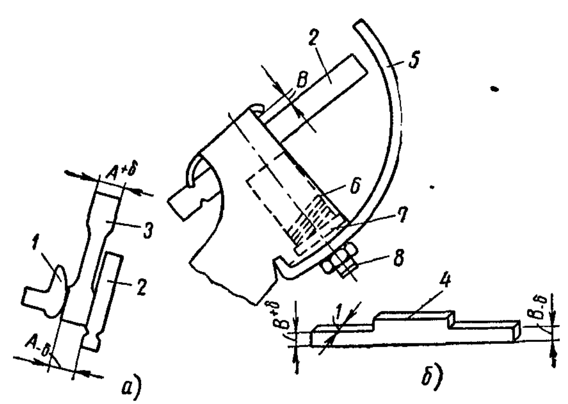


Рис. 344. Измерения раствора и провала главных контактов контактора КП-504:

а — измерение раствора *А*, *б* — измерение зазора *В*, контролирующего провал; *1* — неподвижный контакт, *2* — подвижный контакт, *3* — пластинка для измерения раствора *А*, *4* — пластинка для измерения зазора *В*, *5* — искрогасительный рог подвижного контакта, *6* — контактная пружина, *7* — регулировочная шайба, *8* — фасонный штифт

Измерение раствора контакта производится при помощи пластинки (рис. 344), один конец которой, равный номинальному раствору, должен проходить между контактами, а второй, равный максимально допустимому раствору, не должен проходить между ними. Величины растворов, провалов и нажатий

приведены в табл. 52. При ознакомлении с табл. 52 следует иметь в виду, что контакты в зависимости от их назначения, допустимых нагрузок, напряжения и т. д. выпускаются различных конструкций, обозначаемых следующим образом: контактор I величины, контактор II величины и т. д.

На рис. 345 показан открытый контакт НО в контакторе переменного тока.

Провал контакта. Провал контакта — это расстояние, на которое может сместиться место касания подвижного контакта с неподвижным из положения полного замыкания, если удалить неподвижный контакт. Поскольку провал измерить практически невозможно, измеряют зазор *В*, контролирующий провал, т. е. зазор, образующийся между кронштейном и подвижным контактом при замкнутом положении контактов (рис. 345). По мере износа контактов провал и, следовательно, конечное нажатие уменьшаются, что может привести к перегреву контакта. Когда зазор *В* уменьшится вдвое, контакт необходимо сменить.

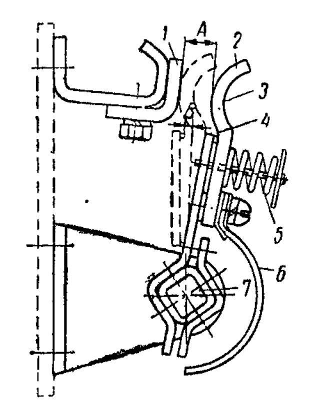


Рис. 345. Контактная часть контактора переменного тока КТ (дугогасительная камера снята):

1 — неподвижный контакт, *2* — подвижный контакт, *3* — место измерения натяжения динамометром, *4* — место подкладывания бумаги, *5* — контактная пружина, *6* — гибкое соединение, *7* — вал; *В* — зазор, контролирующий провал

Начальное сжатие. Начальное сжатие — это усилие, создаваемое контактной пружиной в точке первоначаль-

Таблица 52

Величины растворов, провалов и нажатий главных контактов в контакторах переменного тока
(см. рис. 345)

Величина контактора	Раствор *А*, *мм*	Зазор *В*, контролирующий провал, *мм*	Нажатие контактов, *кг*		Длина контактной пружины, *мм*	
			начальное	конечное	свободная	конечная
		НО контакты				
II	12÷14	2,5÷3,5	0,7÷0,9	0,9÷1,1	35	17
III	17,5±10%	3,5±10%	1,8±10%	3,6±10%	33	24,5
IV	18,5±10%	5,5±10%	3,6±10%	7,2±10%	53	38
V	21,5±10%	6±10%	7,2±10%	14,5±10%	55	43,5
		НЗ контакты				
II	6,5	2,5	0,3±0,04	0,6	35	20
III	9±0,8	2,5	0,9	1,6	45	25
IV	13±0,8	2,5	0,9	1,6	45	25
V	17,5±0,8	3	1,8	3,6	45	24

ного касания контактов. Начальное нажатие характеризует упругость пружины в ее разжатом состоянии, т. е. при первоначальном касании контактов. Для проверки начального нажатия (рис. 346) необходимо: наметить линию соприкосновения контактов; разомкнуть контакты; проложить полоску папиросной бумаги между подвижным контактом и кронштейном; наложить на линию соприкосновения петлю киперной ленты и зацепить ее крюком динамометра; оттягивать динанометр по направлению, перпендикулярному плоскости касания контактов до тех пор, пока контакт не поднимется настолько, чтобы бумагу можно было передвигать. Показания динамометра в этот момент дают величину начального нажатия.

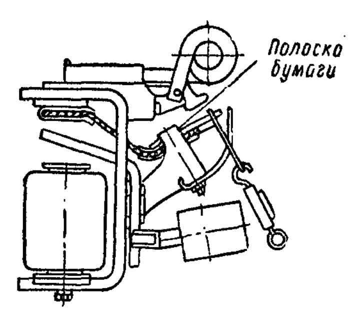


Рис. 346. Измерение нажатия контакта контактора КП-504 (дугогасительная камера снята)

Конечное нажатие. Конечное нажатие характеризует давление контактов при полностью включенном контакторе и неизношенных контактах. При недостаточном нажатии контакты привариваются, при увеличенном — контактор нечетко работает. В табл. 52 приведены величины нажатий для новых контакторов; по мере износа контактов величина конечного нажатия уменьшается. Для проверки конечного нажатия необходимо: произвести полное включение контактов, т. е. включить катушку или заклинить контактор. зажать между контактами полоску бумаги; надеть на подвижной контакт петлю из киперной ленты; оттягивать петлю крюком динамометра по направлению, перпендикулярному плоскости касания контакторов до тех пор, пока контакты не разойдутся настолько, чтобы бумагу можно было передвигать. Показание динамометра, при котором бумагу можно удалить из контактов, характеризует давление пружины (конечное нажатие).

Магнитная система контакторов серий КП500, КТП500 и КП-1. Якорь магнитной системы должен легко поворачиваться на призме. «Игра» якоря вдоль призмы, а также в направлении, перпендикулярном оси вращения, допускается не более 1 *мм*; во всех положениях якорь не должен задевать упорную скобу.

Между боковой поверхностью втягивающей катушки и магнитопроводов должен быть зазор не менее 2÷3 *мм*. При включенной катушке якорь должен плотно прилегать к шляпке сердечника. Допускается зазор между якорем и концом шляпки сердечника, обращенном к оси вращения якоря, не более 0,3÷0,5 *мм*.

Магнитная система контакторов серии КТЭ (рис. 343, *а*). Втягивающий электромагнит создает при работе легкий шум, подобный гудению трансформатора. Сильное гудение аппарата сопровождается перегревом катушки и дрожанием магнитной системы. Гудение происходит по следующим причинам: плохо затянуты винты, крепящие якорь и сердечник; лопнул или отсутствует короткозамкнутый виток; чрезмерно нажаты контакты; якорь перекошен, неплотно прилегает к сердечнику вследствие загрязнения поверхности прилегания при забоинах и искривлении плоскостей прилегания.

Гудение устраняется плотной подгонкой якоря к сердечнику путем шлифовки или зачистки. При повреждении (разрыве) короткозамкнутого витка его следует восстановить.

В прижатом к сердечнику якоре полоска папиросной бумаги не должна передвигаться между крайними выступами магнитопровода. Если поверхность соприкосновения менее 60÷70%, то сердечник нуждается в подгонке. Шабровку следует производить вдоль слоев шихтовки и при этом не следует снимать большого слоя, так как может уменьшиться необходимый зазор между средними выступами магнитопровода. При пуске контактора в работу необходимо удалить с рабочих поверхностей магнитопровода смазку, нанесенную на заводе-изготовителе для защиты от коррозии, так как смазка загрязняет поверхность.

Регулировка блок-контактов. Начальное нажатие на мостик блок-контактов должно быть не менее 60 *г* для контакторов КП-1, не менее 130 *г* для контакторов КП-2 и КТ-2 и не менее 250 *г* для контакторов больших габаритов. Конечное нажатие должно быть около 300 *г*. Если пружины не удовлетворяют этим условиям, их следует заменять. При включенном положении контактора хвостовик якоря не должен давать жесткого удара по пластмассе; в этом случае зазор между хвостовиком якоря и толкателем траверсы должен быть не менее 1,5—2 *мм*. Провал блок-контактов не менее 1,5—2 *мм*. В контакторах серии КТ мостикового типа провал блок-контактов составляет 3—4 *мм*.

Испытание контактора постоянного тока и настройка его под током. При испытании контактора необходимо произвести проверку и регулировку напряжений его втягивания и отпадания. Напряжением втягивания контактора называется наименьшее значение напряжения, при котором якорь аппарата полностью притягивается к сердечнику или упору; напряжением отпадания — наибольшее значение напряжения, при котором якорь отпадает от сердечника и возвращается в исходное положение.

При испытании контактора на втягивание и отпадание проверяются исправность втягивающей катушки, правильность ус-

тановки пружин, свободный ход подвижной части, правильность зазоров.

Согласно ПУЭ аппараты постоянного тока должны четко включаться при подаче 85% номинального напряжения на нагретые до максимально допустимой температуры втягивающие катушки. Однако испытывать аппараты при нагретых катушках затруднительно, поэтому во время наладки аппараты испытывают с холодными катушками, но пересчитывают значение напряжения втягивания. При этом максимальный перегрев меди принимают равным 70°.

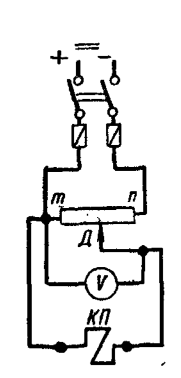
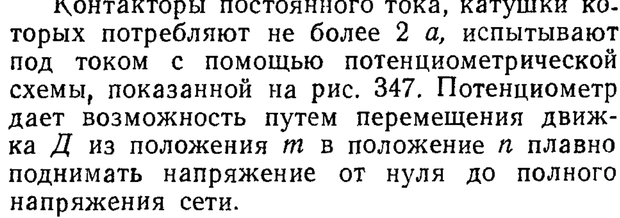


Рис. 347. Схема проверки напряжения втягивания и отпадания контактора при питании от сети постоянного тока

При температуре окружающей среды 20° напряжение втягивания не должно превышать 69% номинального. Таким образом, при 20° для аппаратов на напряжение 220 *в* контрольным напряжением втягивания будет 150 *в*; для аппаратов 110 *в* — 75 *в*.

Напряжение отпадания не нормируется и может иметь любые значения, но должно быть измерено и внесено в протокол, так как характеризует некоторые технические данные аппарата (остаточный немагнитный зазор, конечное нажатие пружин, свободный ход якоря).



Контакторы постоянного тока, катушки которых потребляют не более 2 *а*, испытывают под током с помощью потенциометрической схемы, показанной на рис. 347. Потенциометр дает возможность путем перемещения движка *Д* из положения *m* в положение *n* плавно поднимать напряжение от нуля до полного напряжения сети.

При отсутствии источника постоянного тока аппараты могут быть испытаны с помощью селеновых выпрямителей, собранных по схеме мостика и питаемых от сети переменного тока через потенциометр или автотрансформатор ЛАТР-1 (рис. 348).

Для гашения дуги в контакторах постоянного тока применяют магнитное дутье и охлаждение в узкой щели. В качестве примера рассмотрим действие дугогасительной системы контактора КП-500. Образующаяся между контактами при отключении аппарата дуга под действием магнитного поля искрогасительной системы выдувается в щель камеры, охлаждается от соприкосновения с ее стенками и быстро разрывается. Во время опробования под нагрузкой должно быть проверено исправное действие искрогасительной системы контактора.

Контакторы, у которых контакты быстро выходят из строя, подвергаются специальной настройке. Приступая к проверке

таких аппаратов, необходимо обратить внимание на преждевременные подгорания их поверхности из-за «прыгания» в момент замыкания и прохождения больших пусковых токов. Показателем этого явления служит состояние контактной поверхности, на которой заметна глубокая коррозия линии первоначального замыкания, характерная для явления подгорания от действия дуги. Это обстоятельство устраняется установкой новой контактной пружины, создающей большое начальное нажатие; при затягивании гашения дуги, вызывающем оплавление контактных поверхностей, а затем повышенный нагрев и

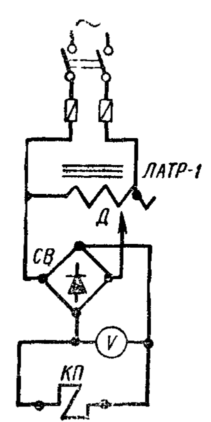


Рис. 348. Схема проверки напряжения втягивания и отпадания контактора при питании от сети переменного тока через селеновые выпрямители

быстрый выход из строя контактов, следует проверить, достаточно ли число витков дугогасительной катушки и правильно ли направление их намотки.

Испытания контактора переменного тока и настройка его под током. Контакторы переменного тока в первую очередь испытываются на отсутствие гудения и вибрации. При значительном гудении следует снять отпечаток прилегания якоря. Для этого на поверхности касания ярма и якоря кладется бумага и контактор включается под напряжение. При наличии перекосов производится дополнительная механическая регулировка, а при необходимости — пришлифовка полюсов.

Контакторы переменного тока должны быть проверены на напряжение втягивания и отпадания. Главной особенностью процесса включения аппаратов переменного тока является значительное увеличение индуктивности катушки по мере уменьшения воздушного зазора. Общее сопротивление катушки определяется в основном ее индуктивным сопротивлением и поэтому ток катушки в момент включения, когда индуктивное сопротивление мало, оказывается в 10—15 раз больше, чем при подтя-

нутом якоре. Согласно требованиям ПУЭ аппараты переменного тока должны четко включаться при подаче на втягивающие катушки 85% номинального напряжения.

Проверка контакторов на напряжение втягивания требует достаточной быстроты производства операций во избежание перегрева катушек и регулировочных устройств током включения.

Массовую проверку контакторов на напряжение втягивания рекомендуется производить с помощью понижающего трансформатора ТБ мощностью 250 *вт* напряжением 220/36 *в* и без использования регулировочного устройства. Обмотки высокого и

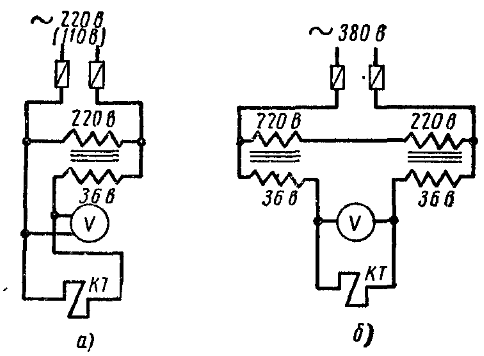


Рис. 349. Схема испытания контактора КТН на напряжение втягивания с помощью трансформаторов ТБ:

а — при напряжении сети 220 (110) *в*, *б* — при напряжении сети 380 *в*

низкого напряжений включаются по схеме понижающего автотрансформатора, как показано на рис. 349, *а, б* (для напряжений 110—220—380 *в*). При таких соединениях на катушку контактора поступает примерно 83,5% номинального напряжения. Первая подача напряжения производится кратковременно на 1—2 *сек* во избежание перегрева катушки в случае, если втягивания якоря не произойдет. При необходимости иметь более точные данные о напряжении втягивания и отпадания удобно пользоваться регулировочным автотрансформатором ЛАТР-1, включая его по схеме, показанной на рис. 350. Следует иметь в виду, что ток включения контакторов КТ может превышать номинальный ток автотрансформатора (например, контактор КТ-4 на 220 *в* при включении потребляет 19 *а*), что вызывает быстрый перегрев обмотки и особенно щеток автотрансформатора.

Повышенное напряжение втягивания якоря может быть вызвано увеличением против номинального числа витков катушки, завышенным зазором якоря, чрезмерной затяжкой вра-

щающей пружины (при ее наличии), затиранием контактов в дугогасительных камерах или затиранием в осях.

Для оценки надежности удерживания контакторов при посадке напряжения питающей сети необходимо определить напряжение отпадания. Это рекомендуется выполнять с помощью

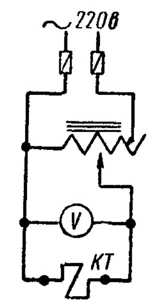


Рис. 350. Схема испытания контактора КТ на напряжение втягивания и отпадания с помощью автотрансформатора ЛАТР-1

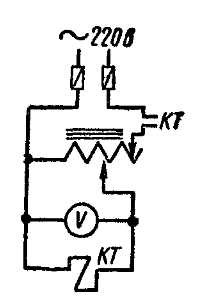


Рис. 351. Схема испытания контактора КТ на напряжение отпадания

автотрансформатора ЛАТР или потенциометра по схеме, показанной на рис. 351, которая позволяет избежать перегрева катушки и регулирующего устройства. Якорь контактора включается от руки и удерживается напряжением, поступающим через блок-контакты КТ. Затем напряжение снижается и в момент отпадания якоря ток катушки вновь отключается блок-контактами. Во время испытания желательно измерять ток, выбираемый катушкой при втянутом якоре и номинальном напряжении и заносить его в протокол для сравнения с каталожными данными и сопоставления при последующих испытаниях.

Регулировка и наладка реле постоянного тока. Наиболее широкое распространение получили реле электромагнитные постоянного тока типов серии РЭ-100, РЭ-180, РЭ-500 и РЭ-580 (рис. 352 и 353), используемых для получения выдержки времени и контроля величины напряжения или тока. Из рис. 352 и 353 видно, что реле этой серии незначительно отличаются друг от друга по своей конструкции. Внешний осмотр, проверка изоляции и измерение сопротивления катушек реле постоянному току производятся аналогично контакторам.

При механической регулировке реле необходимо проследить, чтобы поверхности призмы качания якоря и ее гнезда были гладкими. Якорь должен прилегать к сердечнику по плоскости, в противном случае ребро сердечника быстро сомнет немагнитную прокладку; поверхности прилегания не должны иметь мелких выступов и кривизны. Немагнитная латунная или бронзовая про-

кладка не должна иметь выпучиваний; деформированную прокладку следует выравнивать путем обжатия между гладкими стальными плитками.

Для сохранения постоянства настройки во время эксплуатации при наладке новых реле времени рекомендуется включить якорь от руки, приставить металлический упор к средней части якоря и легко ударить молотком (весом 0,5 *кг*) по упору несколько раз в направлении оси сердечника. Этим удаляют мелкие неровности с поверхностей ярма, сердечника и якоря,

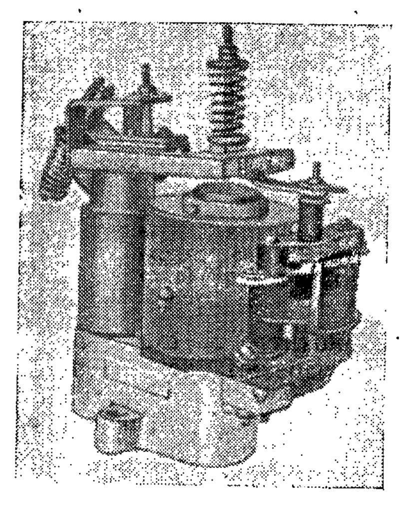


Рис. 352. Внешний вид электромагнитного реле постоянного тока серии РЭ-500

Рис. 353. Внешний вид электромагнитного реле постоянного тока РЭ-580

неизбежно имеющих место и создающих неустойчивый зазор в магнитной системе.

Необходимо проверить крепление сердечника к ярму, оно должно быть плотным.

Наличие зазоров в креплении сердечника к ярму, помимо преждевременного износа, приведет к изменению выдержки времени (или тока отпадания) при эксплуатации; кроме того, следует проверить качество сборки деталей пружинной системы, оно должно быть высоким.

§ 9. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ВЫПОЛНЕНИИ И НАЛАДКЕ УСТРОЙСТВ АВТОМАТИКИ

Общие сведения. Электрическая автоматика имеет большое значение для поддержания нормального режима работы электроустановок и восстановления его после различных

нарушений. Например, очень часто короткие замыкания на воздушных линиях электропередачи, а также на шинах распределительных устройств вызываются случайными набросами и являются кратковременными и быстропреходящими. Это обстоятельство дает возможность применять без ущерба для оборудования автоматическое повторное включение линий электропередачи и других присоединений.

В среднем 70% случаев действия автоматического повторного включения (АПВ) бывают успешными, восстанавливая работу линии электропередачи и снижая в три и более раз количество аварийных перерывов в работе. Поэтому автоматическое повторное включение (АПВ) широко в настоящее время применяется на воздушных и смешанных линиях электропередачи всех напряжений, на кабельных линиях, а также для сборных шин всех напряжений распределительных устройств электростанций, подстанций и других электроустановок.

Широкое распространение получило также автоматическое включение резервного питания (АВР), которое применяется для восстановления питания сборных шин распределительных устройств путем переключения с одной линии электропередачи на другую или с одного трансформатора на другой. Особенно важно применение АВР для восстановления питания собственных нужд электростанций и электроустановок, не терпящих перерыва в электроснабжении.

На электростанциях и в электроустановках применяются автоматическое регулирование возбуждения (АРВ) и устройства быстродействующего возбуждения (УБВ); эти устройства автоматики применяются на синхронных машинах-генераторах, компенсаторах и электродвигателях (на электродвигателях обычно применяются только УБВ).

Устройства АРВ и УБВ должны выполняться и настраиваться таким образом, чтобы при снижениях напряжения более чем на 10—15% обеспечивалось увеличение (форсировка) возбуждения синхронной машины до потолочного (предельного) значения. Как известно, форсировка возбуждения машины ускоряет восстановление напряжения после коротких замыканий и тем самым обеспечивает самозапуск и восстановление работы электродвигателей собственных нужд электростанций и электроустановок промышленных предприятий, а также повышение устойчивости параллельной работы синхронных генераторов электростанций. Кроме того, наличие АРВ облегчает поддержание заданного уровня напряжения и распределение реактивной нагрузки между агрегатами. Например, изменением уставок АРВ, т. е. уровня поддерживаемого напряжения, увеличивается или уменьшается вырабатываемая реактивная мощность.

В энергосистемах широко применяются автоматические ре-

гуляторы частоты (АРЧ); изменяя активную нагрузку генераторов электростанций, они обеспечивают более точное поддержание частоты в энергосистеме (в заданных пределах, т. е. с весьма небольшими отклонениями от нормального значения 50 *гц*, определяемыми чувствительностью этих регуляторов). Кроме того, в энергосистемах применяется и ряд других автоматических устройств, как например автоматическая самосинхронизация, которая является эффективным средством для обеспечения быстрого включения в сеть синхронных генераторов, точная синхронизация, исключающая ошибочные действия персонала при ручном включении генераторов на синхронную работу, автоматическая частотная разгрузка (АЧР).

Ниже в качестве примера приведены краткие описания и способы наладки некоторых автоматических устройств, не требующие инженерной подготовки.

Наладка АПВ и АВР (устройств автоматического повторного включения и автоматического ввода резерва) сводится к обычным проверкам и испытаниям устройств автоматики и релейной защиты:

проверяется механическая часть реле (реле повторного включения РПВ-52, реле ЭП и ЭВ, реле напряжения РН и реле времени РВ схемы АВР и т. д.), замеряются величины сопротивлений катушек этих реле, встроенных в устройство АПВ сопротивлений (17R, 4R, 5R, 6R и др.), емкость конденсатора; полученные результаты сравниваются с их паспортными данными;

проверяется напряжение трогания и измеряется ток удерживания сериесной обмотки реле ЭП, а также время срабатывания и шкала реле времени;

проверяется напряжение трогания реле напряжения РН схемы АВР;

проверяется взаимодействие всех элементов схемы на напряжении $U_{ном}$ и 0,8 $U_{ном}$;

испытывается с помощью мегомметра и повышенным напряжением до 2500 *в* постоянного тока изоляция отдельных элементов и всей схемы в целом;

определяется время заряда конденсатора и готовности схемы АПВ к действию при $U_{ном}$; продолжительность перерыва электроснабжения и время восстановления питания с помощью устройства АВР.

При проведении испытаний пользуются мегомметром 1000 в, мостом ММВ, вольтметром и амперметром М45, секундомером ПВ-53Л.

Наладка устройств автоматического регулирования возбуждения синхронных машин. Обмотка возбуждения (обмотка ротора) каждого синхронного генератора обычно питается от отдельного генератора постоянно-

го тока, называемого возбудителем. Якорь возбудителя либо насаживается на конец вала ротора генератора, либо имеет отдельный вал, соединенный с валом ротора генератора. На рис. 354 показан турбогенератор мощностью 100 тыс. *квт*, 3000 *об/мин*, с водородным охлаждением, у которого возбудитель *3* сидит на одном валу с турбогенератором. Обычно мощность возбудителей составляет в среднем 0,3—1% мощности синхронного генератора, а иногда несколько более; меньшие значения относятся к более мощным генераторам, а бóльшие наоборот. Напряжение возбудителя обычно составляет 115—400 *в*.

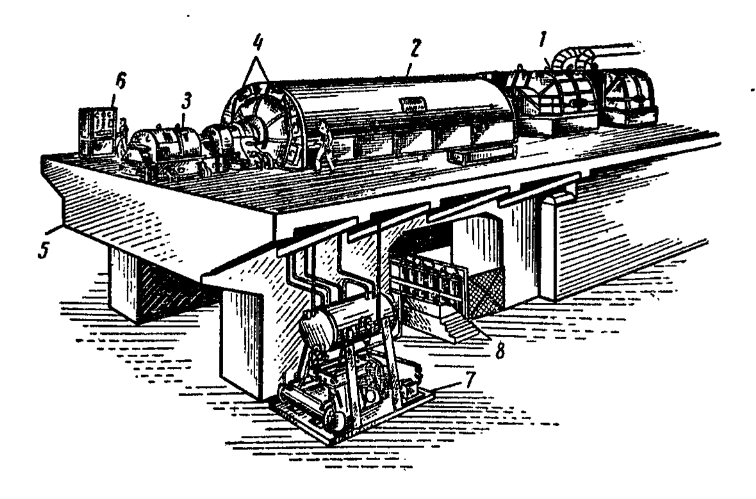


Рис. 354. Турбогенератор мощностью 100 тыс. *квт*, 3000 *об/мин* с водородным охлаждением:

1 — паровая турбина, *2* — генератор, *3* — возбудитель, *4* — секции газоохладителя, *5* — фундамент, *6* — щит управления системой водородного охлаждения, *7* — масляное хозяйство турбоагрегата, *8* — баллоны с водородом

Система возбуждения генератора должна быть выполнена с максимальной надежностью. Недопустимо использование возбудителя для каких-либо иных целей, кроме возбуждения.

На рис. 355 приведена упрощенная схема возбуждения синхронного генератора. В цепь обмотки возбуждения *7* включен шунтовой реостат *8*, предназначенный для ручного регулирования возбуждения генератора. При изменении положения рукоятки реостата *8* изменяется сопротивление, а следовательно, и ток в цепи обмотки возбудителя. Это в свою очередь вызывает изменение э. д. с., наведенной в обмотке якоря *6* возбудителя, напряжения на его зажимах, тока в обмотке *2* возбуждения генератора (в обмотке ротора) и в конечном итоге э. д. с., наве-

денной в обмотке статора-генератора *1*, и напряжения на его зажимах. Амперметр *4* служит для контроля тока в обмотке ротора. Ток возбуждения средних и крупных генераторов обычно велик, поэтому амперметр, как правило, присоединяют через шунт *3*. Вольтметр *5* позволяет контролировать величину напряжения возбудителя при пуске генератора.

Вследствие большой скорости вращения турбогенераторов (обычно 3000 *об/мин*) в эксплуатации наблюдаются случаи повреждения их возбудителей (главным образом коллекторов). Поэтому на тепловых электростанциях, где установлены турбогенераторы, предусматривается резервное возбуждение, позволяющее в случае повреждения рабочего возбудителя генератора быстро перевести питание обмотки его ротора на резервный возбудитель без отключения турбогенератора.

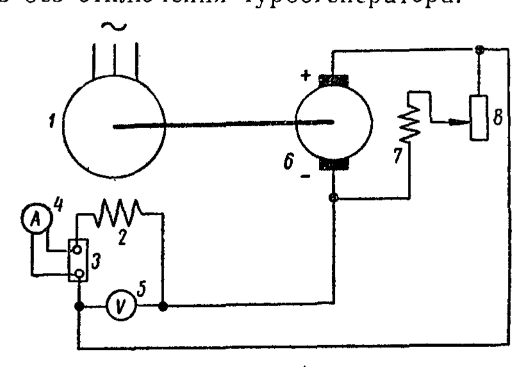


Рис. 355. Схема возбуждения синхронного генератора

В качестве резервного возбудителя используют генератор постоянного тока, приводимый во вращение асинхронным короткозамкнутым электродвигателем.

На гидростанциях при малой скорости вращения гидрогенераторов повреждения возбудителей редки, поэтому резервное возбуждение на них обычно не предусматривается.

Если турбогенератор потерял возбуждение вследствие каких-либо причин, не требующих немедленного его отключения (например, при ошибочном отключении возбудителя, при обрыве в цепи возбуждения возбудителя и т. п.), то он может кратковременно (до 30 *мин*) работать в асинхронном режиме, продолжая нести некоторую активную нагрузку и потребляя из сети реактивную мощность для намагничивания (допускаемая нагрузка указывается в инструкции).

В последнее время осуществляется также возбуждение турбо- и гидрогенераторов и синхронных компенсаторов выпрямленным током от различного рода преобразователей перемен-

ного тока в постоянный — ртутных выпрямителей, игнитронов и др. (так называемое ионное возбуждение). Эта система возбуждения обладает рядом существенных преимуществ перед электромашинной системой возбуждения, особенно для машин больших мощностей (упрощение конструкции генератора вследствие отсутствия возбудителя, большая скорость изменения возбуждения, что обеспечивает бóльшую устойчивость параллельной работы при авариях и др.). Ионное возбуждение имеется у ряда гидрогенераторов Волжской ГЭС имени В. И. Ленина и Волжской ГЭС имени XXII съезда КПСС. В будущем эта система возбуждения, видимо, найдет свое дальнейшее развитие.

Весьма важным элементом схемы возбуждения является автоматическое гашение магнитного поля генераторов после их отключений от сети.

Автоматическое гашение магнитного поля (АГП) служит для быстрого и резкого уменьшения э. д. с. генератора и напряжения на его выводах при внутренних повреждениях в нем, например при коротких замыканиях в генераторе. При повреждении генератора, работающего параллельно с другими генераторами, отключение от сети поврежденного генератора не прекращает протекания тока через место повреждения, поддерживаемого э. д. с. генератора; указанное возможно только путем резкого уменьшения э. д. с., что и достигается автоматическим гашением магнитного поля. Чем быстрее гасится поле возбуждения, тем меньше повреждение в генераторе.

Применяют различные схемы автоматического гашения магнитного поля генераторов. Основным устройством этих схем являются гасительные сопротивления, на которые разряжаются обмотка ротора генератора и обмотка возбуждения возбудителя при их обесточивании. Это означает, что вся освобождаемая магнитная энергия этих обмоток гасится сопротивлениями, противодействуя тем самым возникновению опасной величины напряжения в обмотке ротора (на его контактных кольцах) и способствуя резкому снижению напряжения в обмотке статора генератора.

Основными частями этого устройства являются автомат гашения поля (АГП) и два гасительных сопротивления *3* и *4*. При нормальной работе генератора гасительное сопротивление *3* в цепи обмотки *1* ротора отключено нормально разомкнутыми контактами *5* АГП, а сопротивление *4* в цепи обмотки *2* возбуждения возбудителя закорочено нормально замкнутым контактом *7*. Обмотка ротора присоединена к возбудителю через нормально замкнутый контакт *6*, возбуждение генератора осуществляется так, как показано иа рис. 356.

При повреждении генератора срабатывает установленная на нем релейная защита (на схеме не показана) и приводит в дей-

ствие промежуточное реле *РП*. Последнее срабатывает и через свои контакты *11* замыкает цепь отключающей катушки *13* привода выключателя *В* (цепь: +*ШУ*, контакты *11*, блокировочные контакты *12*, отключающая катушка *13*, —*ШУ*), а через контакты *10* — цепь включающей катушки *8* *АГП* (цепь: +*ШУ*, контакты *10*, катушка *8*, блокировочные контакты *9*, —*ШУ*). При этом отключаются выключатель *В* и автомат гашения поля *АГП*. Контакты последнего устроены так, что при отключении сначала замыкаются контакты *5*, а затем уже размыкаются контакты *6* и *7*. Когда *АГП* сработал, возбудитель оказывается отключенным, а обмотка ротора замкнутой на гасительное сопротивление *3* (через контакты *5*). В образовавшейся короткозамкнутой цепи некоторое время протекает ток, как это показано пунктирными стрелками. Этот ток очень быстро (в течение нескольких секунд) уменьшается до нуля, после чего магнитное поле возбуждения оказывается погашенным и короткое замыкание в генераторе ликвидированным. Величина гасительного сопротивления *3* обычно в 4—5 раз больше величины сопротивления обмотки ротора.

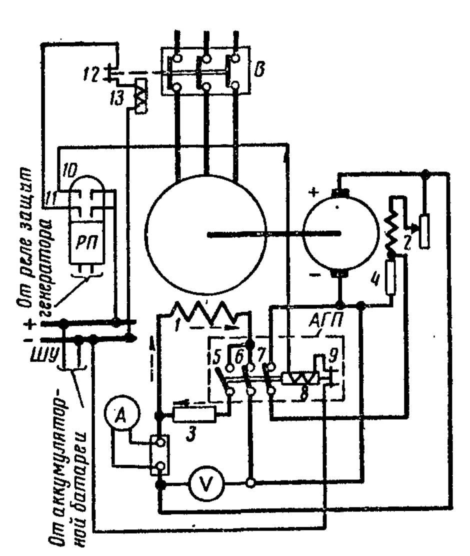


Рис. 356. Принципиальная схема устройства автоматического гашения поля генератора

При размыкании контактов *7* *АГП* в цепь возбуждения возбудителя вводится гасительное сопротивление *4*, уменьшающее ток возбуждения возбудителя. Это необходимо в целях предупреждения чрезмерного повышения напряжения на зажимах возбудителя после отключения его от обмотки ротора.

Гасительное сопротивление, последовательно вводимое с обмоткой возбуждения возбудителя, принимается равной ее 8—10-кратной величине.

Процесс гашения поля по указанной схеме происходит относительно медленно и в ряде случаев вызывает дугу на главных контактах *АГП* и их обгорание; поэтому в последнее время получает распространение новая конструкция автомата гашения поля, разработанная на заводе «Электросила», принципиальная схема которого приведена на рис. 357.

При использовании данного автомата процесс гашения поля происходит значительно быстрее. Обмотка возбуждения синхронной машины *1* питается постоянным током от возбудителя *2* с напряжением *U*. Автомат гашения поля имеет главные контакты *3*, дугогасительные контакты *4* и дугогасительную решетку *5*. При гашении поля сначала размыкаются главные контакты *3*. На них не возникает дуги, так как они шунтированы дугогасительными контактами *4*. Затем через весьма малый промежуток времени размыкаются полностью дугогасительные контакты. На них возникает дуга, которая под действием внешнего поперечного магнитного поля *H*, возбуждаемого постоянными магнитами, втягивается в область дугогасительной решетки *5*. Дуга разбивается на ряд последовательно включенных коротких дуг, которые благодаря этому легко гасятся. Обмотка возбуждения замыкается на гасительные сопротивления и ток возбуждения падает до нуля.

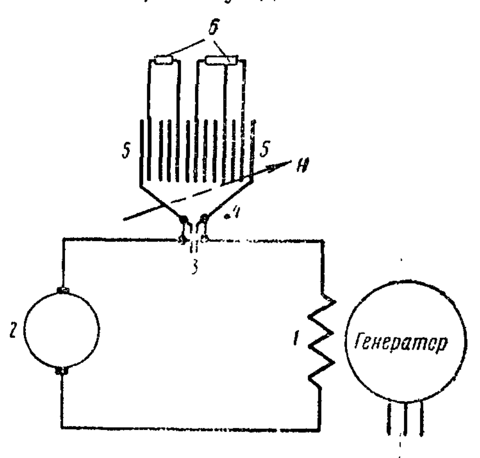


Рис. 357. Схема работы автомата гашения поля завода «Электросила»

Испытание автомата гашения поля (АГП). В объем наладки входит измерение сопротивлений гашения поля постоянному току. Оно может производиться мостами постоянного тока МТВ или УМВ, или же способом амперметра-вольтметра. Величины сопротивлений не должны отличаться от паспортных или расчетных данных более чем на 10%.

Испытание повышенным переменным напряжением изоляции сопротивлений гашения поля производится напряжением 2 *кв* и продолжительностью 1 *мин*. Остаточное напряжение после гашения поля измеряют вольтметром со шкалой 0—500 *в*, присоединенным непосредственно к шинам генератора. До начала измерений необходимо убедиться в отсутствии на шинах высокого напряжения (по вольтметру генератора и путем проверки схемы возбуждения).

Измерение постоянной времени гашения поля можно производить по схеме, показанной на рис. 358, с помощью реле *1* минимального напряжения и электрического секундомера *2*. Реле присоединяют к трансформатору напряжения генератора *3*. Первичное напряжение срабатывания этого реле устанав-

ливают равным 37% номинального напряжения генератора; включают автомат гашения поля *4* и поднимают напряжение генератора *5* до номинального значения. Затем включают рубильник *6*. При этом подается импульс на отключение *АГП* и включается электрический секундомер *2*. Как только напряжение генератора снизится до 37%, реле срабатывает и останавливает секундомер. Таким образом, секундомер показывает время от начала гашения поля до момента снижения величины напряжения до 37%, т. е. постоянную *Т* гашения поля.

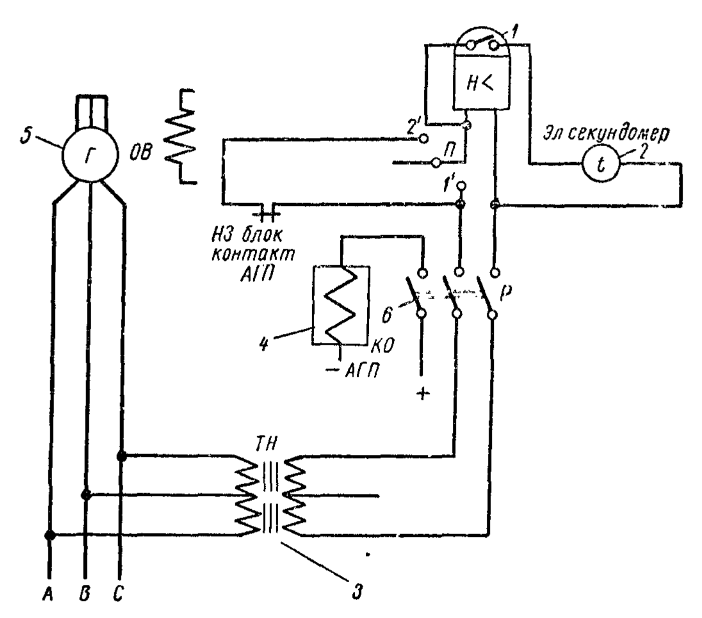


Рис. 358. Принципиальная схема измерения постоянной времени гашения поля

При помощи такой схемы (рис. 358) можно снять кривую гашения поля по точкам, для чего задаются различными значениями напряжения генератора, по очереди устанавливают напряжение срабатывания реле, равным этим значениям, и, производя каждый раз гашение поля, определяют время, в течение которого напряжение снижается на 63%.

Фазировка генераторов с сетью и проверка синхронизационных устройств. После окончания монтажа генератора необходимо произвести его фазировку с сетью и проверить правильность работы всего синхронизационного устройства.

Проверку фазировки можно осуществлять при помощи двух отдельно устанавливаемых однофазных трансформаторов на-

пряжения (*1* и *2*), которые включаются непосредственно на втулки выключателя при отсоединенных шинных разъединителях, как показано на рис. 359.

К вторичным обмоткам трансформаторов напряжения присоединяются вольтметры или лампы накаливания, выбранные на двойное напряжение. Если нуль генератора изолирован, необходимо свободные фазы замкнуть. Включаются шинные разъединители и генератор (*4*) возбуждается до номинального напряжения. Если вольтметры будут одновременно отклоняться в одну и ту же сторону или лампы будут загораться или тухнуть одновременно, чередование фаз у генератора и сети одинаково. В противном случае необходимо поменять местами две фазы у генератора и снова произвести проверку. После проверки фазировки включают синхронизационное устройство *3*. Моменты минимального показания вольтметров или затухания ламп должны совпадать с положением стрелки синхронизационного устройства (синхроноскопа) на нуле, а максимального — с положением стрелки синхроноскопа на 180°.

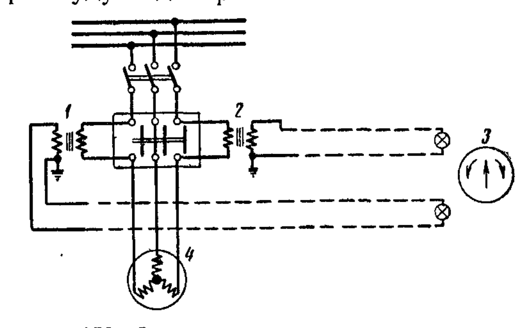


Рис. 359. Схема проверки синхронизационных устройств:

1 и *2* — трансформаторы напряжения, *3* — синхроноскоп, *4* — генератор

При наличии резервной системы шин указанную проверку можно также произвести после проверки фазировки подачей на синхронизационное устройство напряжения от трансформатора напряжения, установленного на выводах включаемого генератора, и от трансформатора напряжения шин, к которым присоединяется испытуемый генератор. Например, для возможности включения генератора на параллельную работу с системой способом самосинхронизации является достаточным, чтобы присоединяемый генератор и система, к которой присоединяется генератор, имели одно и то же чередование фаз.

Точное совпадение фаз генератора и системы, имевшее решающее значение при точной синхронизации, не является существенным при методе самосинхронизации.

Завод-изготовитель заранее указывает фазировку выводов монтируемого генератора. Пользуясь этим, при пусконаладочных работах должно быть проверено, что одноименные фазы генератора и энергосистемы действительно совпадают.

Первая проверка направления чередования фаз генератора

производится на остаточном напряжении статора генератора.

Дальнейшая проверка фазировки генератора с шинами заключается в том, что на генераторный и шинный трансформаторы напряжения подается одновременно одно и то же синхронное напряжение фазируемого генератора, плавно поднимаемое с нуля до номинального значения. Кроме того, при номинальном напряжении генератора на сборках зажимов вторичных цепей каждого трансформатора напряжения производится проверка правильности маркировки вторичных цепей по отношению к первичной. Для трансформаторов напряжения, включенных полной звездой, проверка может быть осуществлена путем поочередного отключения высоковольтных предохранителей на первичной стороне трансформаторов напряжения и измерения фазного вторичного напряжения отключенной фазы на соответствующих зажимах при отключенной нагрузке. При совпадении маркировки вольтметр должен давать нулевое показание.

Для наиболее часто встречающейся схемы, когда генераторный трансформатор напряжения включен открытым треугольником, а шинный — полной звездой, для фазировки на время ее производства отключается заземление вторичных цепей трансформатора напряжения, включенного открытым треугольником. Одноименные фазы *А* обоих трансформаторов напряжения соединяются между собой временной перемычкой *а* — *а'* (рис. 360, *а*). Поочередным включением вольтметра между фазами *В*, а затем фазами *С* обоих трансформаторов напряжения убеждаются в отсутствии напряжения между одноименными фазами. Переносят временную перемычку с фазы *А* на фазу *В* (*в* — *в'*) и измеряют напряжение между фазами *А*, а затем между фазами *С* обоих трансформаторов напряжения. При правильной фазировке вольтметр во всех случаях должен показывать нулевые значения.

Проверка с помощью фазоуказателя ФУ-2 заключается в том, что он включается на вторичную сторону шинных трансформаторов напряжения (рис. 360, *б*). При этом фиксируется направление вращения диска фазоуказателя (от генератора). Затем, оставляя фазоуказатель во включенном положении, отключают генераторный выключатель и на шины подают напряжение от системы (рис. 360, *в*). При этом снова наблюдают направление вращения диска фазоуказателя (от системы).

При правильной фазировке направление вращения фазоуказателя ФУ-2 во всех случаях должно остаться неизменным.

Таким образом, включению генератора в работу должно предшествовать полное проведение испытаний генератора и элементов его распределительного устройства, а также проверка релейных защит генератора, механических защит турбины и синхронизационных устройств. Перед непосредственным вклю-

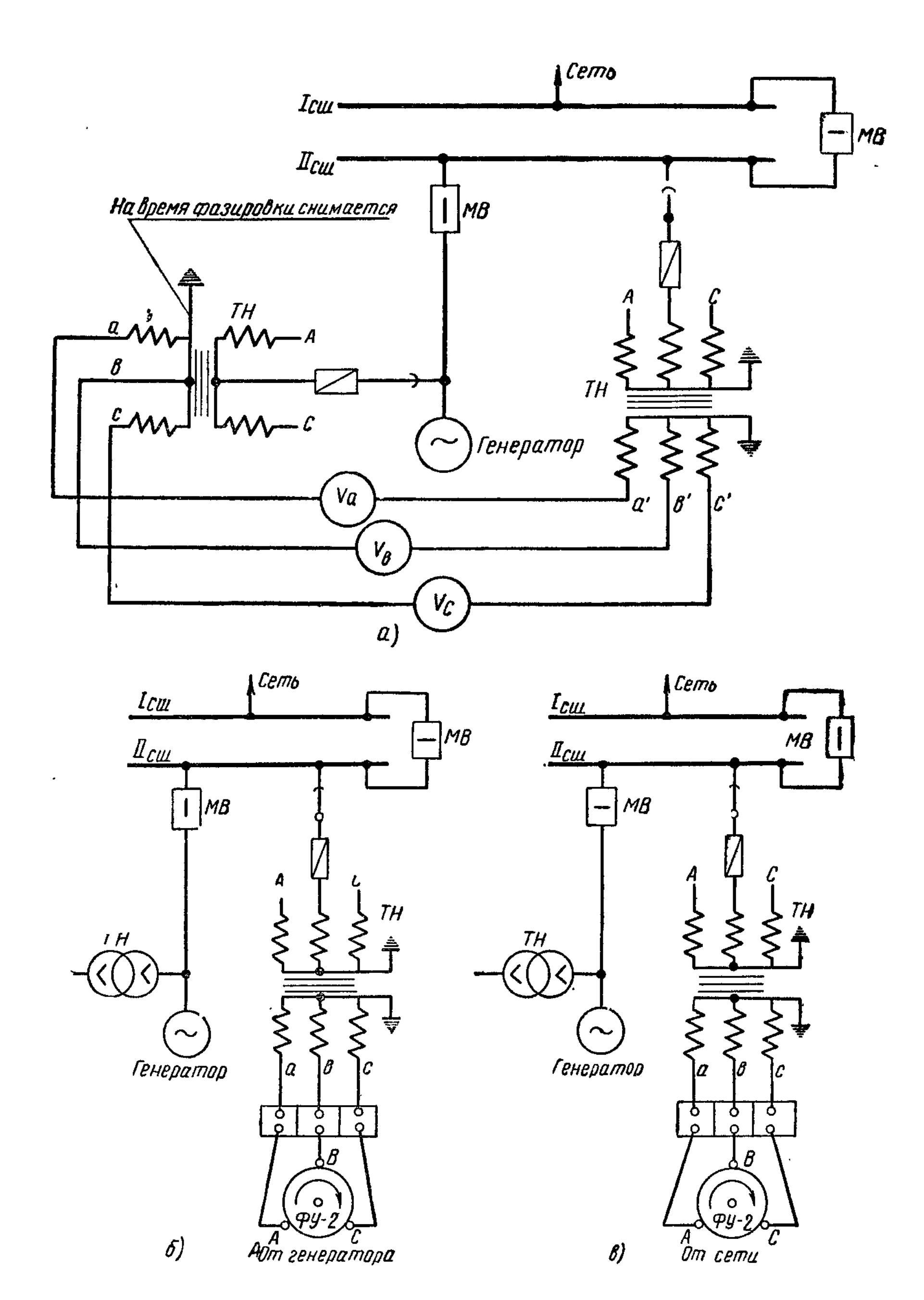


Рис. 360. Схемы фазировки генератора с сетью:
а — с помощью вольтметров, *б* — фазоуказателем, присоединенным к генератору, *в* — фазоуказателем, присоединенным к сети

чением в работу агрегата должен быть произведен тщательный осмотр всей ошиновки, элементов распределительного устройства генератора, его статора и ротора, а также возбудительных агрегатов. После осмотра производится измерение изоляции статора, ротора и ошиновки генератора. Должен быть подан оперативный ток на панели защиты и управления и опробовано отключение выключателя генератора и автоматов гашения поля от действия защит от внутреннего повреждения генератора. Проверка должна производиться путем замыкания накоротко проводником оперативных контактов соответствующих реле. Проверка правильности действия остальных защит генератора определяется по срабатыванию выходного реле защиты генератора, без отключения выключателя. Производится проверка правильности действия сигнальных устройств (блинкеры, звуковые и световые сигналы) от всех предупредительных защит генератора и турбины. Кроме того, от защит гидротурбины производится проверка подачи импульса на остановку турбины.

Глава восьмая

ПОВЕРКА ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

§ 1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ПО ПОВЕРКЕ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Организация поверки приборов. С целью определения погрешностей электроизмерительных приборов производится их поверка, т. е. сравнение показаний рабочих приборов с более точными показаниями образцовых электроизмерительных приборов. Поверка электроизмерительных приборов производится в соответствии с требованиями, установленными для них стандартами или техническими условиями, по которым они изготовляются.

Практика показывает, что все электроизмерительные приборы не сохраняют с течением времени своих технических характеристик и особенно точности измерения, независимо от того, применяются ли они в работе или хранятся на складе. Применение неверных и неисправных электроизмерительных приборов влечет за собой получение неправильных результатов измерения.

Необходимость постоянного поддержания электроизмерительных приборов в состоянии, обеспечивающем верность их показаний, настолько важна, что в Советском Союзе установлен обязательный государственный и ведомственный надзор за электроизмерительными приборами со стороны Государственного комитета стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР и его органов на местах. Поверка приборов лежит также на обязанности пусконаладочных, эксплуатирующих и других организаций.

Предпусковые испытания щитовых приборов производятся на вновь вводимых объектах или после замены и ремонта основного оборудования и изменений во вторичных цепях. В объем предпусковых испытаний входят описанные ниже осмотры и испытания приборов и измерительных трансформаторов.

Внешний осмотр. Задачей внешнего осмотра прибора является определение общего его состояния с целью выявления дефектов, которые могли бы препятствовать применению данного прибора независимо от степени правильности его показаний.

При внешнем осмотре обращают внимание на сохранность кожуха, стекла, зажимов, шкалы, стрелки, корректора, на отсутствие загрязнения и посторонних тел в приборе, на маркировку, обозначения полярности, положение стрелки, клеймо поверки и пр.

Для приборов с механическим противодействующим моментом проверяется уравновешенность подвижного органа прибора. Для этого прибор наклоняется от его нормального положения в любом направлении на 10°. Смещение стрелки от нулевой отметки, выраженное в процентах от длины шкалы, не должно при этом превышать численного значения для данного класса, приведенного в табл. 53.

Таблица 53

Допустимое изменеине показаний при наклоне прибора на 10°

Класс прибора	0,1	0,2	0,5	1,0	1,5	2,5	4,0
Допустимое изменение показаний в % длины шкалы	± 0,1	± 0,2	± 0,5	± 1,0	± 1,0	± 2,5	± 4,0

Определение погрешности. Погрешность прибора является одним из важнейших показателей качества прибора и его основным признаком, положенным в основу классификации приборов по их точности. Понятия о погрешности прибора и точности прибора взаимосвязаны.

Различают погрешности: абсолютную, относительную, приведенную, основную, дополнительную и допустимую.

Абсолютной погрешностью прибора называется разность между показаниями прибора и действительным значением измеряемой величины. Обозначив A_1 — показание прибора; $A_д$ — действительное значение измеряемой величины, определенное по образцовому прибору; ΔA — абсолютную погрешность прибора, можно написать: $\Delta A = A_1 - A_д$.

● Пример. Показание амперметра $I_1 = 30$ *а*. Показание образцового амперметра $I = 30{,}6$ *а*, которое принимается за действительное значение измеряемой амперметром величины тока. Погрешность амперметра составляет: $\Delta I_1 = I_1 - I = 30 - 30{,}6 = -0{,}6$ *а*.

Для некоторых приборов вместо поправок дают поправочный множитель. Поправочный множитель это число, на кото-

рое необходимо умножить показание прибора, чтобы получить действительное значение измеряемой величины.

Относительной погрешностью прибора называется выраженное в процентах отношение абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой величины:

$$\gamma_{отн} = \frac{\Delta A}{A_д} \cdot 100\% = \frac{A_1 - A_д}{A_д} \cdot 100\%.$$

Приведенной погрешностью прибора называется выраженное в процентах отношение абсолютной погрешности к предельному значению шкалы. При двухсторонней шкале берется сумма пределов в обе стороны от нуля

$$\gamma = \frac{\Delta A}{A} 100\%.$$

Основной погрешностью прибора называется погрешность, которую имеет прибор при нормальных условиях работы, т. е. при нормальном положении, температуре окружающей среды $20 \pm 5°$, отсутствии внешнего электрического и магнитного полей, кроме земного, частоте 50 *гц* и синусоидальной форме кривой. Основная погрешность определяется по наибольшей абсолютной разности между показаниями прибора и действительным значением измеряемой величины.

Установка указателя (стрелки) на поверяемую точку производится сначала путем увеличения измеряемой величины от нуля, а затем путем уменьшения измеряемой величины от верхнего предела.

Дополнительной погрешностью прибора называется погрешность, вызванная отклонением условий работы прибора от его нормальных условий. Дополнительные погрешности имеют место в результате неправильной установки, отклонений температуры от нормальной, влияния внешних магнитных и электрических полей, частоты и т. д.

Допустимой погрешностью прибора называется наибольшая приведенная относительная погрешность, которую может иметь прибор согласно ГОСТ, инструкциям или правилам:

$$\gamma_{доп} = \frac{A_{наиб}}{A} 100\%.$$

Точностью прибора называется степень достоверности его показаний. Она оценивается допустимой погрешностью прибора.

Поверкой прибора называется процесс определения погрешности прибора.

Вариацией показаний прибора называется наибольшая полученная экспериментально разность между отдельными пов-

торными показаниями прибора, соответствующими одному и тому же действительному значению измеряемой величины при неизменных внешних условиях. Вариация показаний приборов не должна превышать абсолютного значения основной погрешности, за исключением электромагнитных и ферродинамических приборов при поверке их на постоянном токе, приборов переменного тока класса 0,1 и самопишущих приборов, для которых вариация допускается до величины двойного абсолютного значения основной погрешности.

Постоянством прибора называется степень устойчивости показания его в одних и тех же условиях одной и той же величины. Постоянство прибора характеризуется вариацией его.

Постоянной прибора или ценой деления называют число единиц измеряемой величины, приходящееся на одно деление шкалы прибора. Иначе говоря, постоянная прибора определяется пределом его измерения и полным числом делений его шкалы, а также коэффициентом включенных измерительных трансформаторов.

Наибольшие допустимые погрешности приборов на всех отметках в рабочей части шкалы в зависимости от класса прибора приведены в табл. 54.

Таблица 54

Наибольшие допустимые погрешности приборов

Класс прибора	0,1	0,2	0,5	1,0	1,5	2,5	4,0
Основная погрешность, %	± 0,1	± 0,2	± 0,5	± 1,0	± 1,5	± 2,5	± 4,0

Для определения погрешности поверяемый прибор включается в схему поверочной установки совместно с образцовым прибором. При поверке включают установку и, пользуясь регулировочными устройствами, изменяют ток (или напряжение) так, чтобы стрелка поверяемого прибора прошла несколько раз по всей шкале. Это делается для того, чтобы убедиться в отсутствии заеданий подвижной части. Отключив установку, смотрят, стоит ли стрелка на нуле, и, если необходимо, подправляют ее положение корректором.

После этого, плавно увеличивая нагрузку, устанавливают стрелку поверяемого прибора поочередно на каждой числовой отметке шкалы, записывая при этом показания образцового прибора. Затем дают небольшую перегрузку, чтобы стрелка дошла до упора, и начинают плавно уменьшать показания, вновь останавливая стрелку на каждой числовой отметке и записывая показания образцового прибора.

Разности между показаниями поверяемого и образцового приборов, получаемые как при увеличении, так и при уменьшении нагрузки, являются так называемыми «основными» погрешностями, включающими в себя систематические градуировочные и случайные погрешности.

Из-за наличия случайных погрешностей основная погрешность поверяемого прибора на какой-либо отметке шкалы почти всегда имеет одно значение при возрастающих нагрузках и другое — при убывающих. Разность между двумя значениями основной погрешности, полученными таким путем, называется вариацией прибора.

Если взять среднее арифметическое из этих двух значений основной погрешности, то влияние случайных погрешностей частично будет исключено и получится приближенное значение градуировочной погрешности. Для получения более точного ее значения необходимо произвести поверку показаний на одной числовой отметке не меньше четырех раз при плавном увеличении и при плавном уменьшении измеряемой величины. Среднее из четырех полученных значений погрешности можно считать достаточно точным значением градуировочной погрешности.

Градуировочные погрешности определяют только тогда, когда поверяемый прибор предназначен для измерений повышенной точности. В частности, градуировочные погрешности определяются при поверке образцовых приборов; полученные значения их указываются в свидетельствах. При поверке технических приборов градуировочные погрешности не определяют.

Описанный порядок определения погрешностей следует применять при ответственных поверках приборов, например при поверке приборов, предназначенных для установки на генераторах, мощных трансформаторах, ответственных линиях, а также при поверке на потенциометрах приборов классов 0,1; 0,2; 0,5 и 1,0.

○ Пример. При поверке амперметра с пределом измерения 5 *а* стрелка испытуемого прибора была установлена на значение 4 *а*, при этом показание образцового прибора оказалось равным 4,05 *а*. Абсолютная погрешность поверяемого амперметра $A = 4 - 4{,}05 = -0{,}05$ *а*; относительная приведенная погрешность к шкале прибора равна:

$$\gamma_{\text{отн}} = \frac{4 - 4{,}05}{5} \cdot 100\% = -1\%.$$

○ Пример. Поверяется вольтметр постоянного тока с верхним пределом измерения 150 *в* и числом делений шкалы 150.

При установке стрелки вольтметра на поверяемую точку 100 *в* при увеличении напряжения от нуля показание образцового вольтметра оказалось равным 101 *в*, а при установке

стрелки испытуемого вольтметра на ту же точку 100 *в* при уменьшении напряжения образцовый вольтметр показал 99 *в*. Тогда вариация прибора определяется как

$V = 101 - 99 = 2$ *в* или в процентах к верхнему пределу измерения

$$V = \frac{2}{150} \cdot 100 = 1{,}3\%.$$

Определение времени успокоения. Показания приборов, включенных в цепь, устанавливаются не сразу, а после колебательного процесса подвижного органа, затухающего в течение некоторого времени. Первый отброс стрелки может быть значительно больше измеряемого значения. Поэтому время успокоения подвижного органа и первый отброс указателя регламентируются ГОСТ на приборы. Например, согласно ГОСТ 8711—58 время успокоения подвижной части амперметров и вольтметров не должно превышать 4 *сек*. Для приборов с подвесками и растяжками, для приборов электрической, тепловой и термоэлектрической систем и для приборов с длиной стрелки более 150 *мм* время успокоения не должно превышать 6 *сек*, а для вольтметров электростатической системы с пределами измерения до 30 *в* — 10 *сек*.

Для определения времени успокоения прибор присоединяют к источнику питания и устанавливают такое значение измеряемой величины, при котором стрелка находится на числовой отметке ближайшей к геометрической середине шкалы. Оставляя неизменным положение регулировочного устройства, отключают ток (или напряжение) и после успокоения колебаний стрелки около ее нулевого положения вновь включают прибор, пуская одновременно ручной секундомер. Стрелка начинает колебаться около той числовой отметки, на которую она была ранее установлена; в момент, когда отклонения стрелки от этой отметки не превышают 1% длины шкалы, секундомер останавливают. Так поступают несколько раз, а затем принимают среднее арифметическое из всех показаний секундомера.

Время успокоения приборов с двусторонней шкалой определяют таким же способом, но колебания стрелки наблюдают не при отклонении стрелки до геометрической середины шкалы, а на нулевой отметке после отключения прибора, показание которого перед отключением было равно верхнему пределу измерения.

Определение постоянных приборов с равномерной шкалой, у которой одному делению соответствует один градус.

Для амперметров переменного тока при непосредственном включении постоянная прибора определяется:

$$C_A = \frac{I_{\text{ном}}}{a_{\text{п}}} \; (a/1 \text{ градус шкалы}),$$

где $I_{ном}$ — номинальный ток амперметра;

$a_н$ — полное число делений шкалы прибора.

При измерении через трансформатор тока

$$C_A' = \frac{I_{1ном}}{a_н} \cdot K_{т.т} \ (a/1 \text{ градус шкалы}),$$

где $K_{т.т} = \frac{I_{1ном}}{I_{2ном}}$ коэффициент трансформации трансформатора тока;

$I_{1ном}$ и $I_{2ном}$ — первичный и вторичный номинальные токи трансформатора тока.

Для вольтметров переменного тока, включаемых непосредственно в сеть, постоянная прибора определяется:

$$C_U = \frac{U_{ном}}{a_н} \ (в/1 \text{ градус шкалы}).$$

При включении через трансформатор напряжения постоянная прибора определяется:

$$C_U' = \frac{U_{ном}}{a_н} \cdot K_{т.н} \ (в/1 \text{ градус шкалы}),$$

где $U_{ном}$ — номинальное напряжение вольтметра;

$a_н$ — полное число делений шкалы вольтметра;

$K_{т.н}$ — коэффициент трансформации трансформатора напряжения поверяемого вольтметра (указывается на шкале прибора).

Для милливольтметров магнитоэлектрической системы постоянная прибора определяется по формуле

$$C_а = \frac{U_{ном.\,м} \cdot I_{ном.\,ш}}{a_н \cdot U_{ном.\,ш}} \ (a/1 \text{ градус шкалы}),$$

где $U_{ном.м}$ — номинальное напряжение милливольтметра;

$U_{ном.ш}$ — номинальное падение напряжения калиброванного шунта поверяемого прибора;

$I_{ном.ш}$ — номинальный ток шунта, a;

$a_н$ — полное число делений шкалы милливольтметра.

Если номинальное напряжение милливольтметра равно номинальному падению напряжения шунта, т. е. когда

$$U_{ном.\,м} = U_{ном.\,ш}, \text{ то } C_A = \frac{I_{ном.\,ш}}{a_н}.$$

Например, если имеем милливольтметр 150 *мв* и $a_н = 150$ делений, а номинальный ток шунта 300 *а* и номинальное напряжение 75 *мв*, то

$$C_A = \frac{150 \cdot 300}{150 \cdot 75} = 4 \ (a/1 \text{ градус шкалы}).$$

Если же взять милливольтметр 75 *мв*, $a_н = 150°$, то

$$C_A = \frac{300}{150} = 2 \text{ (}a\text{/1 градус шкалы).}$$

Постоянная ваттметра при непосредственном измерении определяется по формуле

$$C_w = \frac{U_{ном} I_{ном}}{a_н} \text{ (}вт\text{/1 градус шкалы),}$$

где $I_{ном}$ — номинальный ток ваттметра, *а*;
$U_{ном}$ — номинальное напряжение ваттметра, *в*;
$a_н$ — полное число делений шкалы прибора.

Например, шкала ваттметра имеет $a_н = 150$ делений. На шкале обозначены номинальный ток $I_{ном} = 5$ *а* и номинальное напряжение $U_{ном} = 150$ *в*. Тогда постоянная однофазного ваттметра

$$C_w = \frac{I_{ном} U_{ном}}{a_н} = \frac{5 \cdot 150}{150} = 5 \text{ (}вт\text{/1 градус шкалы).}$$

При измерении через трансформаторы тока и напряжения

$$C_w' = \frac{U_{ном} \cdot I_{ном}}{a_н \cdot 10^3} \cdot K_{т.т} \cdot K_{т.н},$$

где $K_{т.т}$ — коэффициент трансформации трансформатора тока;
$K_{т.н}$ — коэффициент трансформации трансформатора напряжения: $K_{т.н} = \frac{U_{1ном}}{U_{2ном}}$,
$U_{1ном}$ и $U_{2ном}$ — первичные и вторичные номинальные напряжения трансформатора напряжения.

Например, если ваттметр включен через трансформатор тока с коэффициентом трансформации $K_{т.т} = \frac{1000}{5}$ и через трансформатор напряжения с коэффициентом трансформации:

$$K_{т.н} = \frac{10\,000}{100}, \text{ при } U_{ном} = 150 \text{ } в, \; I_{ном} = 5 \text{ } а \text{ и } a_н = 150,$$

постоянная ваттметра определится по формуле

$$C_w' = \frac{U_{ном} I_{ном} K_{т.т} \cdot K_{т.н}}{a_н \cdot 10^3} = \frac{150 \cdot 5 \cdot \frac{1000}{5} \cdot \frac{10\,000}{100}}{150 \cdot 1000} = 100 \text{ } квт\text{/1 градус}$$

шкалы прибора или

$$C_w' = \frac{U_{ном} \cdot I_{ном} \cdot K_{т.т} \cdot K_{т.н}}{a_н \cdot 10^6} \text{ (}мвт\text{/1 градус шкалы прибора).}$$

Постоянная счетчика определяется как:

$$C_д = \frac{3600}{n} \frac{квт \cdot сек}{об} \text{ или } C_д' = \frac{3600 \cdot 1000}{n} \frac{вт \cdot сек}{об},$$

где n — передаточное число, указанное на щитке счетчика (число оборотов диска, которое соответствует 1 *квт·ч*).

При включении счетчика через измерительные трансформаторы тока и напряжения с коэффициентом трансформации $K_{т.т}$ и $K_{т.н}$ действительная постоянная счетчика определяется как:

$$C_n = \frac{3600 \cdot K_{т.т} \cdot K_{т.н}}{n}.$$

Согласно ГОСТ 6570—53 мощность может быть определена по счетчикам; измеренная мощность определяется по формуле

$$P = C_д \frac{N}{t} \cdot K_{т.т} \cdot K_{т.н}.$$

Например, для счетчика, на щитке которого указано: 5 *а*, 220 *в*, 1 *квт·ч*=3000 *об* (за промежуток времени $t=100$ *сек* отсчитано $N=100$ *об*) при $K_{т.т}=\frac{200}{5}$ и $K_{т.н}=\frac{6000}{100}$; действительная постоянная счетчика равна: $C_д = \frac{3600}{n} = \frac{3600}{3000} = 1{,}2$ и измеренная мощность определяется как:

$$P = C_д \frac{N}{t} \cdot K_{т.т} \cdot K_{т.н} = 1{,}2 \cdot \frac{100}{100} \cdot \frac{200}{5} \cdot \frac{6000}{100} = 2880 \text{ квт}.$$

Методы поверки измерительных приборов. Основными методами поверки измерительных приборов являются: метод сличения показаний поверяемого прибора с показателями образцового прибора и компенсационный метод.

Метод сличения является наиболее простым, не требующим сложных установок, и часто применяемым. Этим методом пользуются при проведении пуско-наладочных испытаний, им поверяются все щитовые и переносные приборы как постоянного, так и переменного тока с частотой 50 *гц*, а также контрольные и большинство образцовых приборов. Данный метод имеет два существенных недостатка: во-первых, необходимо иметь большое количество образцовых приборов разных наименований и с различными пределами измерения; во-вторых, ограниченная точность, пределом которой является точность образцовых приборов высшего класса 0,1.

Компенсационным или потенциометрическим методом пользуются в лабораториях и при других специальных поверках, когда требуется высокая точность. Потенциометрическая установка является универсальной, она дает возможность поверки на постоянном токе приборов с очень большим диапазоном из-

мерений, т. е. от милливольт до сотен вольт и от миллиампер до сотен ампер. К недостаткам этого метода следует отнести сложность поверки, необходимость применения высокостабильных источников тока и невозможность поверки приборов переменного тока. Однако приборы переменного тока электродинамической и электромагнитной системы со знаком постоянного и переменного тока на шкале могут поверяться на потенциометре.

При использовании метода сличения класс точности образцового прибора должен быть выше класса точности поверяемого. Чтобы показания образцового прибора можно было принять за действительное, необходимо, чтобы наибольшая возможная погрешность образцового прибора была в три раза меньше допустимой погрешности поверяемого прибора (см. табл. 55).

Таблица 55

Соотношение классов точности образцового и поверяемого приборов при методе сличения

Класс поверяемого прибора	Класс образцового прибора	Примечание
0,2	0,1	
0,5	0,2	
1,0	0,2 (0,5)	Образцовый прибор с нониусной шкалой
1,5	0,5	
2,5	1,0	
4,0	1,5	

Трансформаторы тока и напряжения для включения образцовых приборов при поверке методом сличения следует применять класса точности не ниже 0,5.

Источники постоянного и переменного тока, применяемые при поверке методом сличения, должны обладать таким постоянством, чтобы изменения величин тока, напряжения или мощности за время, необходимое для отсчета показаний приборов, не превосходили $\pm 0{,}1\%$ их значения. Частота переменного тока должна соответствовать указанной на поверяемом приборе, а в случае отсутствия этого указания — равняться 50 *гц*.

При поверке приборов на месте их установки ограничиваются определением погрешности прибора при одной-двух фактически имеющихся нагрузках.

§ 2. ПОВЕРКА ЩИТОВЫХ И ПЕРЕНОСНЫХ ПРИБОРОВ КЛАССОВ 1,0; 1,5; 2,5 и 4,0

Поверка амперметров переменного тока. Определение погрешности амперметров переменного тока производится на установке, обеспечивающей плавную и непрерыв-

ную регулировку тока в пределах от нуля до номинального значения поверяемого амперметра. Схема поверки амперметров переменного тока показана на рис. 361, *а*. Регулировка тока осуществляется автотрансформатором *АТ* (ЛАТР-1 или ЛАТР-2) в первичной обмотке нагрузочного трансформатора *НТ*. В качестве последнего может быть использован трансформатор 220/12 *в* мощностью 250—500 *ва*, вторичную обмотку которого целесообразно пересоединить на 6 *в*.

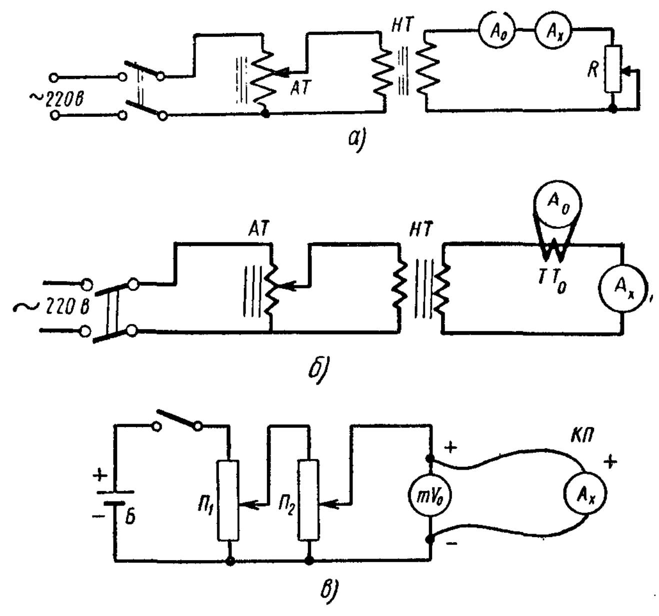


Рис. 361. Схема поверки амперметров:
а, *б* — переменного тока, *в* — постоянного тока

Такая установка допускает также поверку амперметров непосредственного включения с пределом измерения до 100—200 *а* и более (при кратковременном включении).

В качестве образцового амперметра A_0 применяют астатический амперметр класса 0,5 с пределом измерения 5 *а*, прошедший государственную поверку. Последовательно с ним включается проверяемый прибор A_x . При поверке амперметров, предназначенных для включения с трансформаторами тока с вторичным током 5 *а*, последовательно с образцовым амперметром включают низкоомный реостат *R* (10 *а*, 2—3 *ом*).

При поверке амперметров непосредственного (прямого) включения образцовый амперметр включают в цепь через образцовый трансформатор тока TT_0 с коэффициентом трансфор-

мации, соответствующим пределу измерения поверяемого амперметра. Реостат во вторичной цепи не включают (рис. 361, *б*).

Амперметры электромагнитной системы с вторичным током 5 *а*, а также амперметры непосредственного включения (с катушкой, рассчитанной на номинальный ток) перед поверкой могут не прогреваться. При поверке амперметров непосредственного включения на большие пределы соединительные провода должны быть по возможности большего сечения и небольшой длины с плотно поджатыми под зажимы прибора наконечниками. Образцовый прибор размещается на необходимом расстоянии от токоподводящих проводов первичной цепи. Основная погрешность амперметров переменного тока не должна превышать значений, приведенных в табл. 54.

Поверка амперметров постоянного тока. В амперметрах постоянного тока с наружными калиброванными шунтами поверке подвергают измерители-милливольтметры, так как эти амперметры представляют собой милливольтметры магнитоэлектрической системы, включаемые с помощью калиброванных проводников на потенциальные зажимы калиброванных шунтов. Поверку производят на установке, схема которой показана на рис. 361, *в*.

В качестве источника тока используют одну банку кислотного или щелочного аккумулятора или один сухой элемент *Б* напряжением 1,2—2 *в* и емкостью не менее 30 *а · ч*.

Регулировку напряжения осуществляют при помощи двух потенциометров $П_1$ и $П_2$, при этом один из них ($П_1$) служит для грубой регулировки, а другой ($П_2$) — для тонкой регулировки напряжения.

В качестве образцового прибора применяют милливольтметр mV_0 класса 0,5 с пределами измерений 45; 60; 75 или 150 *мв* соответственно номинальному падению напряжения на калиброванном шунте.

Поверяемый милливольтметр присоединяют посредством его калиброванных проводов. Они могут быть заменены равными сопротивлениями.

На рис. 362 приведены две возможные схемы для поверки амперметров с номинальным током до 10—30 *а*. Схема рис. 362, *а* позволяет плавно изменять ток от нуля до наибольшего значения, но требует применения потенциометра *П* и реостата *R* со специальной намоткой.

Схема, приведенная на рис. 362, *б*, дает возможность регулировать ток от некоторого небольшого значения до наибольшего значения с применением обычных реостатов R_1, R_2 и R_3.

В схеме рис. 362, *а* потенциометр наматывается ступенчато, сечение провода увеличивается от начала обмотки к концу. Последняя ступень потенциометра рассчитывается на номиналь-

ный ток поверяемых амперметров. Расчет ступенчатого потенциометра (*П*) производится, исходя из принятого напряжения и предельного тока. Реостат *R*, служащий для тонкой регулировки тока, рассчитывается на номинальный ток и включается или по схеме дополнительного потенциометра, или же последовательно с приборами.

В схеме рис. 362, *б* реостаты R_1, R_2 и R_3 включаются последовательно в цепь с поверяемыми приборами и, по существу, заменяют один ступенчатый реостат. Соотношение сопротивле-

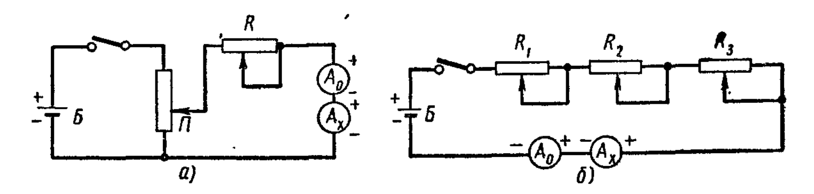


Рис. 362. Схемы поверки амперметров постоянного тока: *а* — до 20 *а*, *б* — до 30 *а*

ний реостатов ориентировочно принимается: $R_1 : R_2 : R_3 = 100 : 10 : 1$ и соотношение номинальных токов реостатов при этом $I_1 : I_2 : I_3 = 1 : 10 : 100$. Регулировка тока производится в

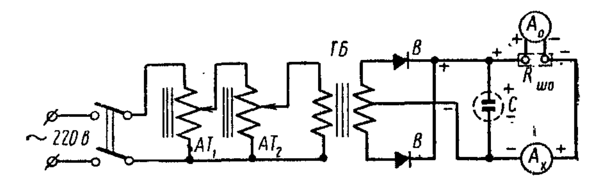


Рис. 363. Схема поверки амперметров постоянного тока до 100 *а*

строго определенном порядке $R_1 \to R_2 \to R_3$, причем в исходном положении все реостаты имеют полное сопротивление (введены в цепь). Прежде чем приступить к регулировке следующей ступени, реостат предыдущей ступени должен быть закорочен движком.

Питание обеих схем производится от аккумуляторной батареи емкостью 60—100 *а·ч*. Напряжение батареи принимается в соответствии с данными реостатов и требуемым значением наибольшего тока. В качестве образцового прибора принимается многопредельный амперметр магнитоэлектрической системы класса 0,5 типа М-104 с наибольшим пределом измерения 30 *а* (рис. 89).

При поверках амперметров с пределами измерения более 30 *а* и до 100 *а* применяется схема, приведенная на рис. 363. В данной схеме питание осуществляется от сети переменного тока через автотрансформаторы AT_1, AT_2 и трансформатор ТБ посредством двухполупериодного выпрямителя, собранного из селеновых шайб диаметром 100 *мм*, например типа С-100; в каждом плече соединяются параллельно по 25 шайб. В схеме используется конденсатор *С*, сглаживающий пульсацию тока.

На рис. 364, *а* показаны столбики селенового выпрямителя и на рис. 364, *б* — меднозакисного.

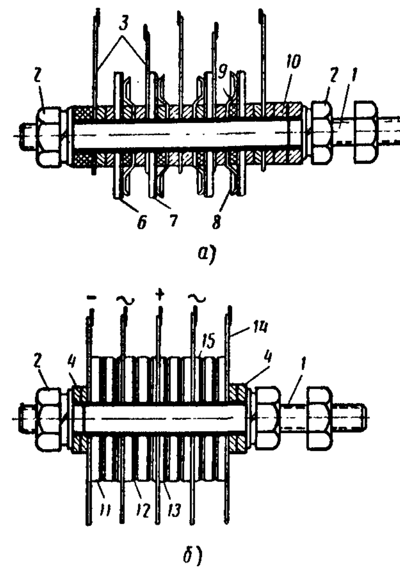


Рис. 364. Твердые выпрямители:

а — селеновый, *б* — меднозакисный: *1* — монтажная шпилька, *2* — стягивающая гайка, *3* — токоотводящие шпилки, *4* — изоляционная шайба, *5* — дистанционная металлическая шайба, *6* — стальная шайба с селеновым покрытием, *7* — селеновое покрытие, *8* — пружинящая контактная шайба, *9* — дистанционная изоляционная шайба, *10* — изоляция монтажной шпильки, *11* — медный диск, *12* — меднозакисный слой, *13* — свинцовая шайба, *14* — радиатор для охлаждения выпрямителя, *15* — дистанционная металлическая шайба

В качестве понижающего трансформатора используется трансформатор ТБ-0,5, 220/12 *в*, 500 *ва* с отводом на 6 *в* на стороне низшего напряжения. Регулировка тока в схеме осуществляется с первичной стороны понижающего трансформатора при помощи двух автотрансформаторов AT_1 и AT_2, т. е. ЛАТР-1 и ЛАТР-2. Для некоторого сглаживания пульсаций на выходе выпрямителя включаются электролитические конденсаторы КЭГ-2 по 2000 *мкф*, 20 *в*, соединенные параллельно в количестве не менее 10—20 шт. Соединительные провода должны быть короткими, надежными и необходимого сечения. В качестве образцового прибора применяется милливольтметр класса 0,5 с шунтом класса 0,1 или 0,2, например милливольтметр класса 0,5 типа М-105, 45 *мв*, 10 *ом* с шунтом 45 *мв*.

П о в е р к а в о л ь т м е т р о в п е р е м е н н о г о т о к а. Определение погрешности вольтметров переменного тока производят на установке, обеспечивающей плавную и непрерывную регулировку напряжения в пределах от нуля до номинального значения поверяемого вольтметра.

Схемы поверки щитовых вольтметров переменного тока приведены на рис. 365. В качестве источника питания в обоих случаях используют сеть переменного тока напряжением 220 *в*.

Регулировку напряжения осуществляют автотрансформатором AT (ЛАТР-2).

Схему рис. 365, *а* используют в основном для поверки вольтметров V_x с номинальным вторичным напряжением около 120 *в*, включаемых через трансформаторы напряжения. В каче-

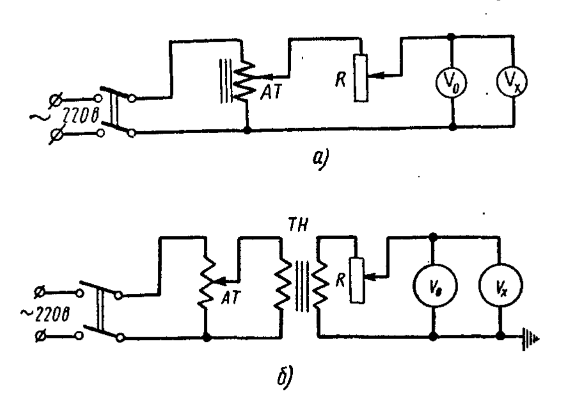


Рис. 365. Схемы поверки вольтметров переменного тока:

а — до 150 *в*; AT — регулировочный автотрансформатор ЛАТР; R — реостат до 100 *ом*; *б* — свыше 150 *в*; AT — автотрансформатор ЛАТР; R — реостат 0,5 *а* и 400 *ом*; TH — повышающий трансформатор

стве образцового вольтметра применяют астатический вольтметр класса 0,5 с пределом измерения 150—300 *в* (рис. 366) типа АСТВ. Он применяется для точных лабораторных измерений напряжения и в качестве контрольного прибора при градуировке и поверке вольтметров более низких классов точности.

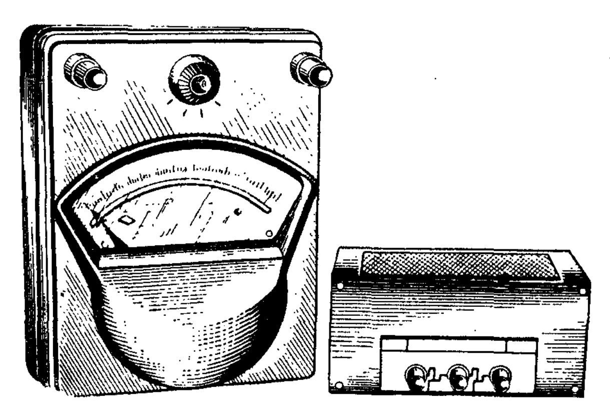


Рис. 366. Внешний вид прибора АСТВ с добавочным сопротивлением типа ДВ

Предел измерения прибора АСТВ может быть расширен до 600 *в* с применением добавочного сопротивления типа ДВ 450—600 *в*.

Схема рис. 365, *б* применяется при поверке вольтметров непосредственного включения с пределом измерений более 150 *в*, поэтому в схеме применяется повышающий трансформатор 220/380 *в* мощностью около 100 *ва*. Для точного регулирования напряжения в схемах рис. 365, *а*, *б* предусмотрен реостат *R*. Вторичная (повышающая) обмотка трансформатора и ее цепь должны быть защищены от случайных прикосновений.

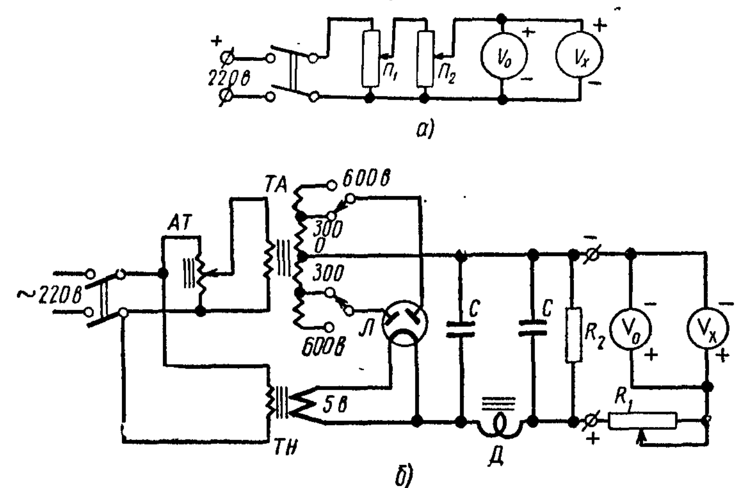


Рис. 367. Схемы поверки вольтметров постоянного тока:
а — до 150 *в*, *б* — до 600 *в*

В качестве образцового прибора применяют астатический вольтметр класса 0,5 с пределами измерения 300—600 *в*. Образцовый вольтметр по своему пределу измерений подбирается соответственно поверяемому вольтметру.

Поверка вольтметров постоянного тока. Определение погрешности вольтметров до 150 *в* магнитоэлектрической системы производится на постоянном токе 220 *в* или от аккумуляторной батареи по схеме, приведенной на рис. 367, *а*; сопротивление реостатов, включенных потенциометрами $П_1$ и $П_2$, обычно принимается в пределах 500—100 *ом*. Поверка вольтметров с пределами измерения, большими 150 *в*, требует наличия источников постоянного тока с соответствующим напряжением. Для удобства обычно применяют кенотронные или селеновые выпрямители с фильтром на выходе.

На рис. 367, *б* для примера приведена схема кенотронного выпрямителя для поверки вольтметров с пределом измерения

до 600 *в*. Повышающий трансформатор *ТА* имеет на вторичной стороне среднюю точку и переключатель на два положения 300 и 600 *в*.

В качестве выпрямителя используется кенотрон *Л* типа 5Ц3С или 5Ц4С, накал которого должен питаться обязательно от отдельного трансформатора *ТН* 200/5 *в*, включенного до регулирующего устройства.

В качестве регулирующего устройства обычно используют автотрансформатор *АТ* типа ЛАТР-2. Фильтр, сглаживающий пульсации, состоит из дросселя *Д* (5—20 *гн*) и конденсаторов *С* типа КБГ 600 *в* по 6 *мкф*, включаемых по 3—5 шт. до и после дросселя.

На выходе выпрямителя предусматривается разрядное сопротивление R_1 порядка 20—40 *ком*. Так как ЛАТР-2 не обеспечивает должной регулировки выпрямленного напряжения, то для получения точной регулировки последовательно с вольтметрами включен реостат R_2, сопротивление которого принимается порядка 500—1500 *ом*.

Поверка ваттметров. Трехфазные ваттметры активной мощности, предназначенные для включения в сеть с неравномерной нагрузкой фаз (имеющие две измерительные системы), следует поверять в трехфазной схеме, обеспечивающей независимую плавную и непрерывную регулировку тока и напряжения в каждой фазе, а также плавную и непрерывную регулировку фазы напряжения по отношению к фазе тока. Пределы регулировки всех цепей должны обеспечивать поверку имеющихся ваттметров и фазометров. Этим условиям удовлетворяют трехфазные стенды.

Одна из возможных схем поверки трехфазного двухсистемного ваттметра показана на рис. 368, *а*. В качестве источника питания используют трехфазную сеть напряжением 220 *в*. Цепь тока состоит из трех понижающих нагрузочных трансформаторов *ТН* 220/12 *в*, 100—500 *ва*, включенных по схеме звезда — треугольник, трех регулировочных автотрансформаторов AT_1, типа ЛАТР-2 и трех реостатов *R* на 1—2 *ом*, 10 *а*, включенных звездой; последние предназначены для точной регулировки тока и выравнивания нагрузки по фазам. Цепи напряжения не связаны с цепями тока.

В цепи напряжения включен фазорегулятор *ФР* (например, типа ФР-61-4 с выходным напряжением 220/380 *в*), во вторичной цепи которого включены три автотрансформатора *АТ* типа ЛАТР-2 для регулировки напряжения каждой фазы. Автотрансформаторы ЛАТР-2 включены звездой во вторичной обмотке фазорегулятора. Пределы регулирования такой схемы обеспечивают поверку не только ваттметров с вторичным номинальным током 5 *а* и напряжения 100 *в*, но и ваттметров на токи до 50 *а* с напряжением до 220 *в*. Поверка начинается при значе-

нии $\cos\varphi = 1$. Это значение устанавливается по показаниям образцовых ваттметров. Поверка ваттметров при $\cos\varphi = 1$ производится при индуктивной нагрузке; характер нагрузки может быть установлен по показаниям образцовых ваттметров.

Перед определением погрешности ваттметра необходимо проверить полярность его зажимов и симметричность обеих из-

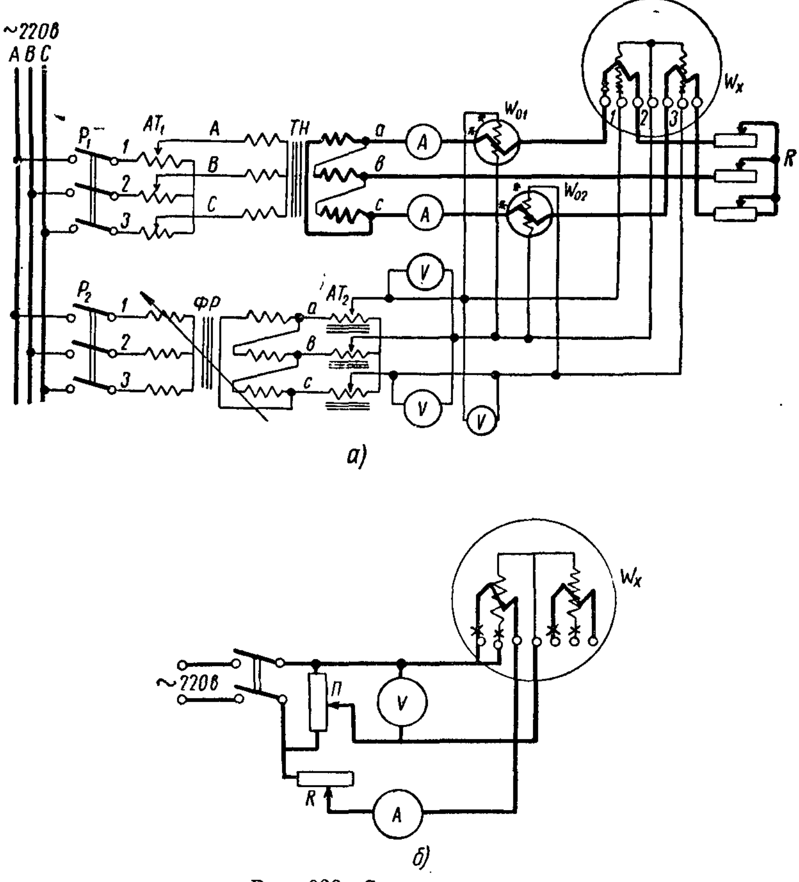


Рис. 368. Схема поверки:
а — трехфазных двухсистемных ваттметров, *б* — полярности ваттметров

мерительных систем. Однополярные зажимы цепей тока и напряжения обычно обозначаются звездочкой (*). Проверку полярности производят до включения ваттметра в трехфазную сеть по схеме, показанной на рис. 368, *б*.

При правильном обозначении однополярных зажимов тока и напряжения ваттметр W_x должен давать положительное от-

клонение стрелки в правую сторону. Поочередно испытывают обе системы ваттметра.

Проверку симметричности обеих систем трехфазного ваттметра производят также в однофазной схеме, для чего токовые обмотки двухсистемного ваттметра включают встречно. При номинальном напряжении, приложенном к параллельно включенным зажимам испытуемого ваттметра, и коэффициенте мощности около единицы ток плавно увеличивается до номинального значения. При этом стрелка ваттметра может смещаться с нулевой отметки шкалы в пределах, указанных в табл. 53.

Определение погрешностей трехфазных ваттметров активной мощности производят при номинальном и симметричном напряжении, определенном порядке чередования фаз, практически равномерной нагрузке фаз и номинальном коэффициенте мощности (если он не указан на шкале, то при коэффициенте мощности, близком к единице). Регулировку нагрузки осуществляют в токовых цепях реостатами R. В качестве образцовых приборов применяют однотипные астатические ваттметры класса 0,5, имеющие свидетельства о государственной поверке. Для ваттметров, предназначаемых для включения через измерительные трансформаторы, пределы измерения образцовых ваттметров должны быть 5 *а*, 150 *в* (или 5 *а*, 90 *в*).

Для поддержания номинального напряжения могут быть применены вольтметры классов 1,5—2,5, обычно устанавливаемые на трехфазном стенде. Токовая нагрузка может устанавливаться и регулироваться по показаниям щитовых амперметров классов 1,5—2,5.

Значение коэффициента мощности устанавливается по показаниям образцовых ваттметров. При $\cos\varphi=1$ показания обоих ваттметров равны между собой и положительны по знаку, т. е. $\alpha_1+\alpha_2$; при $\cos\varphi=0$ показания ваттметров равны между собой, но противоположны по знаку; при $\cos\varphi=0{,}5$ показания одного из ваттметров равны нулю; при $\cos\varphi<0{,}5$ показания одного из ваттметров отрицательны, измеряемая мощность при этом определяется, как алгебраическая сумма показаний ваттметров. Промежуточные значения $\cos\varphi$ могут быть определены по кривой, показанной на рис. 141.

Основная погрешность ваттметров активной мощности не должна превышать значений, указанных в табл. 54.

§ 3. ПОВЕРКА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Условия поверки. Все измерительные трасформаторы должны подвергаться государственной (или обязательной ведомственной) поверке. В объем поверочных работ измерительных трансформаторов входят внешний осмотр и испытания, описание которых приводится ниже.

Внешний осмотр. При внешнем осмотре измерительных трансформаторов обращается внимание на исправность трансформаторов, наличие щитка с указанием номинальных параметров, наличие обозначения полярности и т. д.

Испытание электрической прочности изоляции первичной обмотки измерительных трансформаторов относительно вторичной обмотки и корпуса производятся в соответствии с существующими правилами и нормами на испытание изоляции оборудования высокого напряжения. На все трансформаторы, прошедшие испытание, составляют соответствующие протоколы. Электрическую прочность изоляции вторичных обмоток измерительных трансформаторов проверяют в лаборатории переменным током напряжением 2 *кв*, частотой 50 *гц* в течение 1 *мин*. При

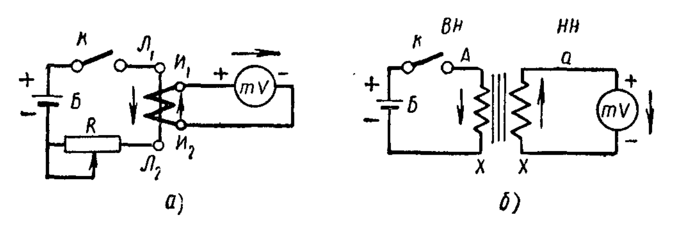


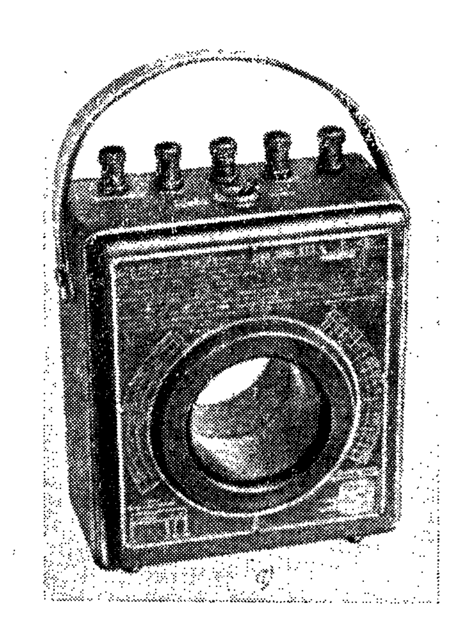
Рис. 369. Схема поверки измерительных трансформаторов:
а — трансформаторов тока, *б* — трансформаторов напряжения

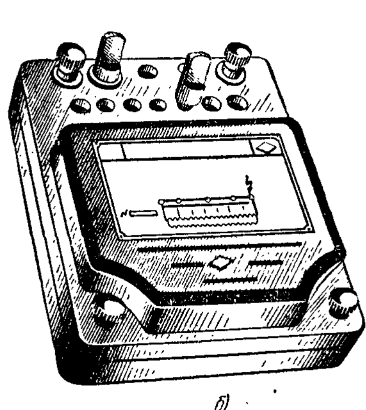
наличии нескольких вторичных обмоток испытанию подвергают каждую обмотку, при этом другие обмотки замыкают на корпус.

Проверку полярности измерительных трансформаторов производят при помощи магнитоэлектрического чувствительного прибора и батарейки (рис. 369), состоящего из простого гальванометра или милливольтметра магнитоэлектрической системы и сухой батарейки для карманного фонарика или элемента.

Батарейка *Б* (рис. 369, *а*) присоединяется через кнопку *К* к зажиму первичной обмотки (стержню), обозначенному буквой $Л_1$; зажим $Л_2$ присоединяется через ограничивающее сопротивление *R* к минусу батарейки. Милливольтметр включается во вторичную цепь плюсом к зажиму $И_1$.

При правильном обозначении полярности в момент нажатия кнопки *К* стрелка кратковременно отклонится в положительном направлении. При размыкании кнопки *К* стрелка опять отклонится, но в противоположном направлении. Полярность может быть проверена также и на аппарате АИТ для определения погрешности. Так же проверяются измерительные трансформаторы напряжения (рис. 369, *б*).





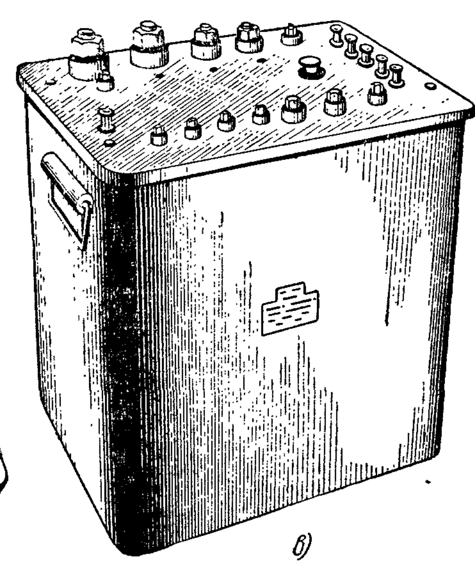


Рис. 370. Внешний вид переносных лабораторных многопредельных трансформаторов тока:
а — универсального типа УТТ6, *б* — типа И54, *в* — типа И56

П о в е р к а   т р а н с ф о р м а т о р о в   т о к а. Определение погрешностей трансформаторов тока классов 0,2—0,5—1,0 производится путем сравнения с образцовым трансформатором тока класса 0,2, например: УТТ5, УТТ6, И54, И56 и др. (рис. 370).

На рис. 370, *а* показан внешний вид универсального переносного лабораторного многопредельного трансформатора тока УТТ6, предназначенного для включения с измерительными приборами при точных лабораторных измерениях различных параметров в цепях переменного тока напряжением не выше 500 *в* и частотой 50 *гц* в тех случаях, когда номинальное значение тока, на которое рассчитаны измерительные приборы, меньше величины измеряемого тока. Он также может применяться в качестве образцового трансформатора в схемах поверки рабочих трансформаторов тока. Трансформатор тока рассчитан на номинальные первичные токи: 100—150—200—300—400—600—750—1000—1500—2000 *а*; номинальный ток вторичной цепи 5 *а*, класс точности 0,2.

На рис. 370, *б* приведен внешний вид переносного лабораторного многопредельного однофазного трансформатора тока И54, предназначенного для включения с измерительными приборами при точных лабораторных измерениях различных параметров в цепях переменного тока частотой 50 *гц* в тех случаях, когда номинальное значение тока, на которое рассчитаны измерительные приборы, не соответствует величине измеряемого тока. Он также может применяться в качестве образцового в схемах поверки рабочих трансформаторов тока. Трансформатор тока рассчитан на номинальные первичные токи трансформатора: 0,5—1—2—5—10—20—50 *а* при номинальном вторичном токе 5 *а*; класс точности трансформатора 0,2.

На рис. 370, *в* дан внешний вид многопредельного лабораторного измерительного трансформатора тока И56, предназначенного в основном для применения в качестве образцового при поверке рабочих трансформаторов тока.

Он может быть также использован при лабораторных измерениях в цепях переменного тока частотой 50 *гц*. Трансформатор тока рассчитан на номинальные первичные токи: 1; 5; 7,5; 10; 15; 20; 30; 40; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 600; 750 и 1000 *а* при вторичном токе 1 и 5 *а*; класс точности 0,1. Сравнение погрешностей трансформаторов тока производится по нулевому методу с помощью аппарата Нестеренко, например типов АИТ, АТТ и др. При дифференциально-нулевом методе используется вибрационный магнитоэлектрический гальванометр М501 (рис. 371).

Номинальный коэффициент трансформации образцового трансформатора тока должен быть равен номинальному коэффициенту трансформации поверяемого трансформатора. Это условие является обязательным. В качестве источника тока при-

меняются нагрузочные понижающие трансформаторы с регулировкой тока в первичной цепи. Например, для поверки трансформаторов тока с номинальным током до 200 *а* могут быть использованы в качестве нагрузочных понижающие трансформаторы ТБ-0,5, 220/12 *в*, 500 *ва*, у которых обе секции вторичной обмотки соединяются параллельно. Для плавной регулировки используется автотрансформатор ЛАТР-1 с номинальным током 9 *а*. При поверке трансформаторов тока на большие токи должен быть соответственно применен и нагрузочный трансформатор Т220/1÷2 *в*, 2÷5 *ква*, например, на токи 2000÷5000 *а*, а для регулировки тока должны быть взяты более мощные регулировочные автотрансформаторы *АТ*, например типа ТНН-20 или ТНН-40 с номинальным током до 40 *а*.

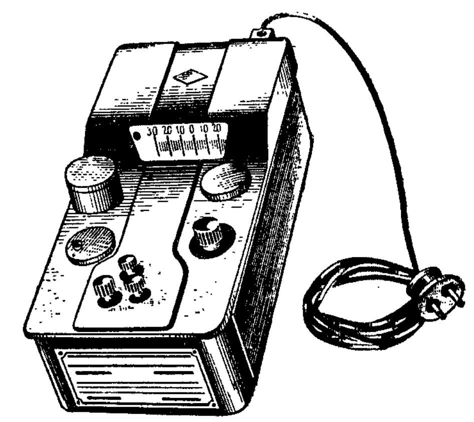


Рис. 371. Внешний вид прибора М501

Принципиальная схема соединений при поверке трансформатора тока при помощи универсального аппарата АИТ с образцовым трансформатором тока TT_0 приведена на рис. 372, *а*. Во вторичную обмотку поверяемого трансформатора TT_x должно быть включено нагрузочное сопротивление, соответствующее номинальной нагрузке трансформатора с точностью ±10% для данного класса. В качестве вторичной нагрузки обычно используется специальное сопротивление НТТ-2, допускающее получение необходимого значения вторичной нагрузки при $\cos\varphi = 0{,}8$. Это сопротивление присоединяется к соответствующим зажимам аппарата АИТ.

Перед поверкой, как правило, трансформатор тока должен быть размагничен. Для этого через первичную (или вторичную) обмотку при разомкнутой другой обмотке пропускается ток величиной порядка 10% номинального и затем плавно уменьшается до нуля или другим способом — при замкнутой вторичной обмотке на сопротивление 10 *ом* пропускают номинальный ток через первичную обмотку и плавно уменьшают его до нуля. При включении в цепь трансформатора тока с двумя кернами, т. е. с двумя обмотками, неповеряемая обмотка должна быть замкнута накоротко во избежание ее пробоя. Поверка производится для разных значений первичного тока и разных значений вторичной нагрузки (см. табл. 56).

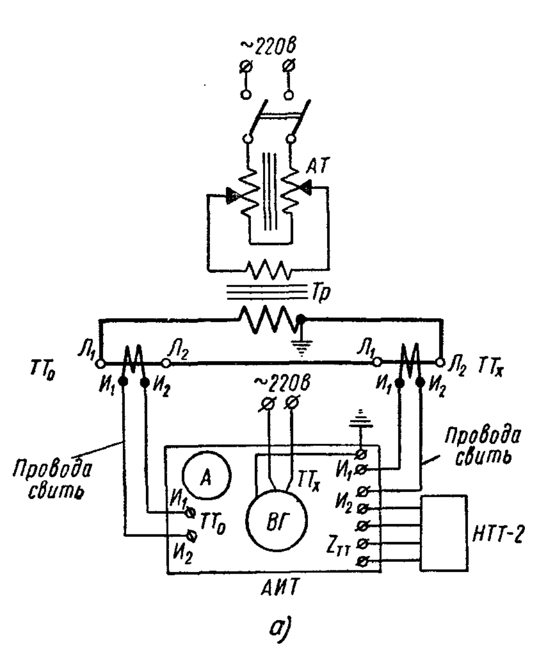




Рис. 372. Аппарат для поверки измерительных трансформаторов тока АИТ:
а — принципиальная схема, *б* — внешний вид

Таблица 56

Значения токов, при которых поверяются трансформаторы тока

Класс точности	Нагрузка вторичной цепи	Значение тока (%) номинального
0,2; 0,5; 1,0	Номинальная	10, 20, 50 и 100
	0,25 номинальной	100
3,0	Номинальная	50, 100
	0,25 номинальной	100

Погрешность определяется как среднее из двух отсчетов при плавном увеличении и при плавном уменьшении первичного тока. Расхождения между отсчетами не должны превышать значений, указанных в табл. 57.

Таблица 57

Допустимые расхождения между отсчетами при определении погрешности трансформатора

Ток, % номинального	Допустимые расхождения между отсчетами				
	по току, %		по углу, *мин*		
	при классе точности				
	0,2	0,5—1,0	0,2	0,5	1,0
10	0,1	0,2	2,0	10	10
20, 50, 100 и 120	0,05	0,1	1	5	10

Для трансформаторов тока с большим номинальным током, например выше 1000 *а*, допускается поверка при токе 50% номинального значения, а в качестве образцового трансформатора может быть использован проверенный и имеющий поправки трансформатор тока класса 0,5. Токовая и угловая погрешности поверяемого трансформатора определяются с учетом погрешностей образцового трансформатора тока; в этом случае погрешности алгебраически суммируются.

Внешний вид аппарата АИТ приведен на рис. 372, *б*. Аппарат АИТ представляет собой универсальный комбинированный прибор, предназначенный для поверки трансформаторов тока и напряжения классов 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 3,0 и 10,0, для измерения активных и реактивных составляющих сопротивлений и проводимостей нагрузки измерительных трансформаторов, а также для измерения компенсационным методом малых переменных напряжений.

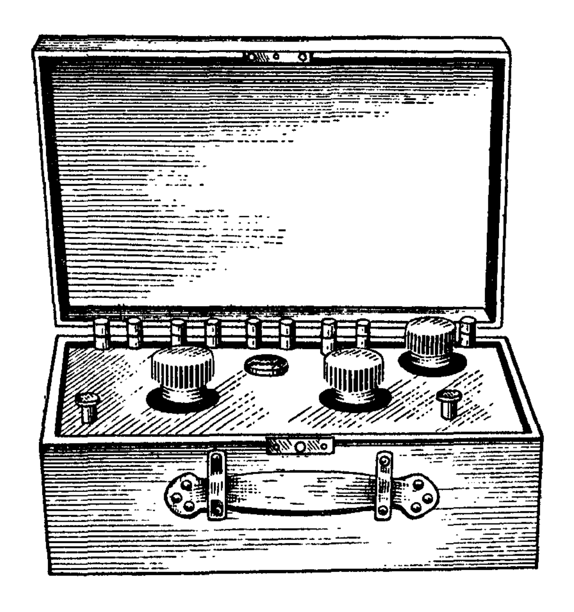


Рис. 373. Внешний вид аппарата для поверки трансформаторов тока АТТ с приставкой ПТН.

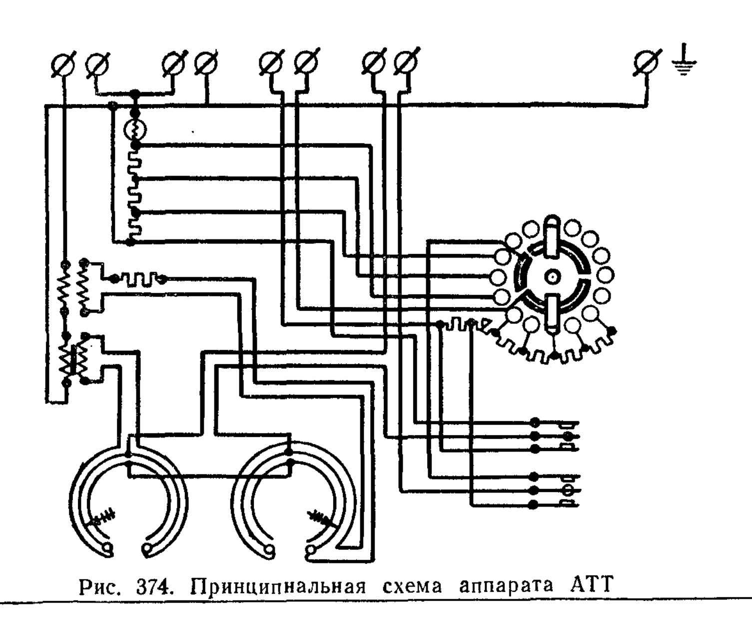


Рис. 374. Принципиальная схема аппарата АТТ

Для поверки трансформаторов тока и напряжения в аппарате применен дифференциально-нулевой метод сличения погрешностей поверяемого трансформатора с погрешностями образцового. Габаритные размеры прибора составляют 240×480×630 *мм*; вес прибора — 26 *кг*.

Для поверки трансформаторов тока и измерения активных и реактивных сопротивлений, а при применении в комплекте с приставкой ПТН — для поверки трансформаторов напряжения и измерения проводимостей нагрузок измерительных трансформаторов применяется также аппарат типа АТТ, общий вид которого представлен на рис. 373, а принципиальная схема — на рис. 374.

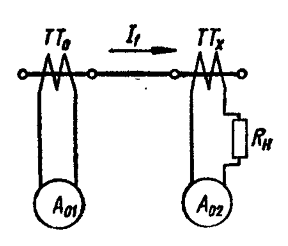


Рис. 375. Упрощенная схема поверки трансформаторов тока класса 3,0. R — нагрузочное сопротивление к амперметру

Трансформаторы тока класса 3,0 могут поверяться более простым методом сличения по схеме, изображенной на рис. 375, где TT_0 и TT_x соответственно образцовый и поверяемый трансформаторы тока с одинаковым коэффициентом трансформации и A_{01} и A_{02} — образцовые амперметры. Показания амперметров сначала сравниваются между собой в схеме без трансформаторов тока, для чего на амперметре A_{01} устанавливается ток 5 *а* и замечается при этом показание α_1 амперметра A_{02}.

В полной схеме первичный ток I_1 регулируется так, чтобы амперметр A_{01}, включенный с образцовым трансформатором тока, показывал 5 *а*. При этом показания амперметра A_{02}, включенного с поверяемым амперметром, будет α_2. Тогда токовая погрешность поверяемого амперметра будет равна:

$$F_т = F_{от} + \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{\alpha_1} \cdot 100,$$

где $F_{от}$ — токовая погрешность образцового трансформатора тока.

Коэффициент трансформации образцового трансформатора тока должен лежать в пределах от 1 до 1,5 номинального коэффициента трансформации поверяемого трансформатора.

Вычисление погрешности поверяемого трансформатора производят по формуле

$$\Delta = \Delta_{ср} + \Delta_0; \quad \delta = \delta_{ср} + \delta_0,$$

где Δ — погрешность по току;

$\Delta_{ср}$ — среднее значение погрешности по току поверяемого трансформатора;

Δ_0 — погрешность по току образцового трансформатора (по свидетельству);

δ — угловая погрешность;

$\delta_{ср}$ — среднее значение угловой погрешности поверяемого трансформатора;

δ_0 — угловая погрешность образцового трансформатора.

Погрешности поверяемого трансформатора тока не должны превышать значений, приведенных в табл. 58.

Таблица 58

Допустимые погрешности трансформаторов тока (ГОСТ 7746—55)

Первичный ток, % от номинального	По току, %				Угловая, *мин*			
	класс точности							
	0,2	0,5	1,0	3,0	0,2	0,5	1,0	3,0
120—100	±0,20	±0,50	±1,0	±3,0	±10	±40	±80	Не нормируется
120—50	±0,30	±0,65	±1,3	±3,0	±13	±45	±90	
120—20	±0,35	±0,75	±1,5	Не нормируется	±15	±50	±100	
120—10	±0,50	±1,0	±2,0		±20	±60	±120	

Вторичная нагрузка трансформатора должна быть в пределах от 25 до 100% номинальной при $\cos\varphi = 0,8$ и быть не меньше 0,15 *ом* для трансформаторов тока с вторичным током 5 *а*.

Поверка трансформаторов напряжения классов 0,2—0,5—1,0 выполняется также методом сравнения с образцовым трансформатором напряжения класса 0,2 при помощи аппаратов АИТ и АТТ. В виде исключения допускается поверка с помощью образцового трансформатора напряжения класса 0,5, имеющего небольшие погрешности.

Поверка производится обычно на месте установки под рабочим напряжением, для чего образцовый трансформатор напряжения должен быть установлен и присоединен к тем же шинам с соблюдением всех правил установки и правил техники безопасности.

Номинальный коэффициент образцового трансформатора напряжения должен быть равным номинальному коэффициенту трансформации поверяемого трансформатора. Условия поверки трансформаторов напряжения приведены в табл. 59.

Если по техническим причинам регулировку напряжения в пределах 90—110% не представляется возможным осуществить, то поверку трансформаторов напряжения производят при рабочем напряжении на шинах, но в пределах 90—110% номинального.

Для трехфазных трансформаторов напряжения каждую фазу поверяют отдельно, но первичное напряжение должно быть присоединено ко всем фазам, а вторичная нагрузка всех фаз должна быть равномерной.

Погрешности трансформаторов напряжения вычисляют по тем же формулам, что и погрешности трансформаторов тока. Они не должны превышать значений, приведенных в табл. 60.

Таблица 59

Значения напряжений и нагрузок, при которых поверяют трансформаторы напряжения

Класс точности трансформатора напряжения	Нагрузка вторичной цепи при $\cos\varphi = 0,8$	Значение напряжения в % от номинального
0,2; 0,5; 1,0	Номинальная	90, 100, 110
	0,25 номинальной	100
3	Номинальная	100
	0,25 номинальной	100

Таблица 60

Допустимые погрешности трансформаторов напряжения

Класс точности	Первичное напряжение в % от номинального значения	Допустимые погрешности	
		по напряжению, %	по углу, *мин*
0,2	От 110 до 90	±0,2	±10
0,5	„ 110 „ 90	±0,5	±20
1,0	„ 110 „ 90	±1,0	±40
3,0	100	±3,0	Не нормируется

Трансформаторы напряжения класса 3 можно поверять упрощенно при помощи образцового трансформатора напряжения TH_0 и двух образцовых вольтметров V_0 и V_x по схеме, показанной на рис. 376. Коэффициенты обоих трансформаторов должны быть одинаковы. Погрешность определяется точно также, как и для упрощенной схемы поверки трансформаторов тока класса 3,0.

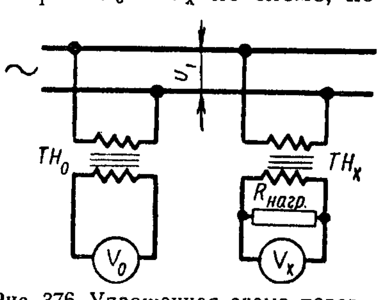


Рис. 376. Упрощенная схема поверки трансформаторов напряжения класса 3,0. $R_{нагр}$ — нагрузочное сопротивление

Коэффициент трансформации образцового трансформатора напряжения не должен отличаться от коэффициента трансформации поверяемого трансформатора более чем на ±10%.

В схеме, изображенной на рис. 376, указан трансформатор напряжения TH_0 типа УТН-1, внешний вид которого показан на рис. 377. Этот универсальный переносный лабораторный многопре-

дельный однофазный измерительный трансформатор напряжения предназначен для включения с измерительными приборами при точных лабораторных измерениях различных параметров в цепях переменного тока частотой 50 *гц* в тех случаях, когда номинальное значение напряжения, на которое рассчитаны измерительные приборы, не соответствует величине измеряемого напряжения. Он также может применяться в качестве образцового в схемах поверки рабочих трансформаторов напряжения. Трансформатор УТН-1 рассчитан на номинальные первичные напряжения: 500; 380 и $380/\sqrt{3}$ *в*; номинальные вторичные напряжения: 100; $100/\sqrt{3}$ и 100/3 *в;* номинальную мощность соответственно значениям вторичных напряжений: 15; 10 и 5 *вт*. Класс точности трансформатора 0,2; а при повышенной в два раза нагрузке вторичной цепи — 0,5.

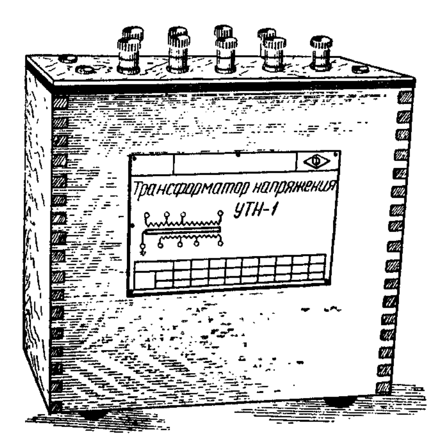


Рис. 377. Внешний вид трансформатора напряжения УТН-1

Образцовые трансформаторы тока и напряжения, аппараты для поверки трансформаторов тока, а также нагрузочное сопротивление ИТТ-2 для поверяемых трансформаторов тока должны иметь клеймо и свидетельства органов Комитета с поправками. Нагрузка вторичной цепи образцовых трансформаторов при поверке не должна отличаться более чем на $\pm 10\%$ от той, которая указана в свидетельстве.

§ 4. ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ИЗОЛЯЦИИ ПРИБОРОВ

Надлежащая изоляция токоведущих частей измерительных приборов является необходимым условием для обеспечения надежности их работы и безопасности обслуживающего персонала. Прочность изоляции проверяется испытательным напряжением, прикладываемым между всеми соединенными между собой зажимами испытуемой цепи и корпусом. У приборов с корпусом из изоляционного материала испытательное напряжение прикладывается между всеми зажимами испытуемой цепи и доступными неизолированными металлическими частями корпуса, соединенными между собой посредством металлической фольги. Величина испытательного напряжения должна соответ-

ствовать значению, указанному на шкале прибора или же определяться по табл. 61 (ГОСТ 1845—52); длительность испытания 1 *мин.*

Таблица **61**

Величины испытательного напряжения для приборов

Номинальное напряжение прибора или сети, *в*	Испытательное напряжение (действующее значение), *кв*
Приборы прямого включения:	
до 99	0,5
от 100 до 650	2
„ 651 „ 1000	3
„ 1001 „ 1500	4
„ 1501 „ 2000	5
2001 и более	2 $U_{ном}$ + 1 *кв**
Приборы, предназначенные для включения через трансформаторы тока и напряжения (при проверке в лаборатории)	2

* Округляются до целого числа киловольт в сторону увеличения.

Для приборов прямого включения испытательное напряжение выбирается в зависимости от пределов номинального напряжения сети. Отклонение стрелки испытуемого прибора даже до упора, появление искрения и шума, дрожание стрелки не являются признаками плохой изоляции. Пробой изоляции фиксируется по контрольному вольтметру при падении показаний до нуля.

Прочность изоляции между токовыми цепями и цепями напряжения ваттметров и фазометров, а также между раздельными токовыми цепями указанных приборов испытывается двойным номинальным напряжением, но не более 600 *в*. Испытание изоляции на электрическую прочность производится на специальном стенде (установке) переменного тока 50 *гц*, обеспечивающем соблюдение правил техники безопасности и дающем возможность плавно поднимать испытательное напряжение. На рис. 378 показан внешний вид такой испытательной установки.

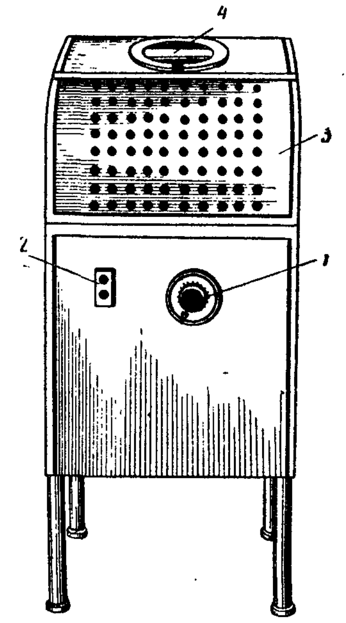


Рис. 378. Внешний вид испытательной установки:

1 — ручка регулятора напряжения, *2* — кнопка включения и отключения, *3* — трансформатор, *4* — контрольный вольтметр

Испытательное напряжение контролируется по вторичной повышающей обмотке испытательного трансформатора. Мощность испытательного трансформатора должна быть не менее 0,25 *ква*. Изоляция шунтов и добавочных сопротивлений проверяется согласно табл. 62. Изоляция измерительных трансформаторов проверяется по нормам для высоковольтного оборудования.

Измерение сопротивления изоляции электрических цепей производится обычно мегомметром с номинальным напряжением 500 *в* при температуре окружающего воздуха от +15 до +25°. Наименьшая допустимая величина сопротивления изоляции цепей прибора относительно корпуса приведена в табл. 62.

Таблица 62

Допустимые сопротивления изоляции приборов
(ГОСТ 8711—58)

Группа по условиям эксплуатации	Температура и влажность воздуха при испытании	Наименьшее допустимое значение изоляции
А, Б	+15 ÷ +25°; 80%	20 *Мом*
В, Т	+15 ÷ +25°; 95±3%	2 *Мом*
В, Т	+60° (в течение 48 *час*) 95±3%	Через 10 *мин*, 0,5 *Мом*

§ 5. ШУНТЫ И ДОБАВОЧНЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Шунты. Для расширения пределов измерения амперметров магнитоэлектрической системы применяются шунты. Как известно, через рамку магнитоэлектрического амперметра можно пропустить длительно ток не более 150—200 *ма*, а для измерения тока больше указанных величин приходится применять шунты, по которым обычно протекает наибольшая часть измеряемого тока. Шунт присоединяется параллельно рамке измерительного прибора, следовательно по закону Кирхгофа распределение тока между рамкой измерителя и шунтом будет обратно пропорционально их сопротивлениям.

Отношение измеряемого тока $I_ш$ к току, протекаемому через рамку амперметра, I_a называют коэффициентом шунтирования, т. е.

$$K_ш = \frac{I_ш}{I_а} = \frac{R_{пр}}{R_ш}.$$

Стационарные шунты должны выдерживать в течение двух часов нагрузку током, равным 120% номинального. Перенос-

ные шунты должны выдерживать такую же нагрузку в течение 45 *мин*, а шунты класса 0,05 и 0,1 — в течение 5 *мин*.

Шунты с номинальным током до 500 *а* включительно должны выдерживать кратковременную перегрузку 3-кратным током в течение 5 *сек* и 10-кратным током в течение 0,5 *сек*.

Шунты с номинальным током более 500 до 2000 *а* включительно должны выдерживать перегрузку 3-кратным номинальным током в течение 5 *сек*.

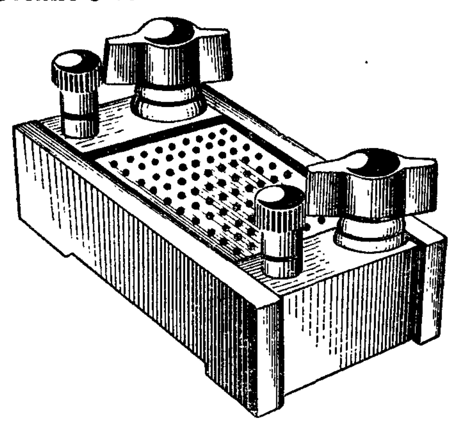


Рис. 379. Внешний вид шунта Р114

Шунты выполняются следующих классов точности: 0,05; 0,1; 0,2 и 0,5.

На рис. 379 показан внешний вид и габаритные размеры переносного шунта Р114, который применяется с приборами класса точности 0,5. В табл. 63 приведены технические данные шунтов на 75, 150, 300 *а*.

Таблица 63

Технические параметры шунтов

Номинальный ток шунта, *а*	Сечение провода, не менее, *мм*^{2}	Минимальные размеры медных шин (ширина и толщина), *мм*	Габаритные размеры, *мм*	Диаметр токовых зажимов, *мм*	Вес шунта, *кг*
75	16	—	67×140	8	1,2
150	—	35×1	67×140	12	1,3
300	—	40×2,1	67×140	12	1,5

Добавочные сопротивления. Для расширения пределов измерения вольтметров в сторону увеличения измеряемого напряжения применяют добавочные сопротивления $R_д$. Из-

вестно, что по схеме и принципу действия вольтметр является также и миллиамперметром, шкала которого градуирована в вольтах. У вольтметров с верхним пределом измерения до 300 *в* добавочное сопротивление встраивается обычно внутри корпуса прибора. При устройстве вольтметров с верхним пределом измерения свыше 300 *в* применяются отдельные добавочные сопротивления.

Отдельные добавочные сопротивления помещаются в специальном корпусе, не связанном с прибором, и включаются с ним последовательно. Отдельное добавочное сопротивление можно подогнать к определенному прибору и применять только с этим прибором, в этом случае на нем делается надпись: «к вольтметру №...»

Для технических приборов отдельные добавочные сопротивления обычно бывают калиброванными, а не индивидуальными. В зависимости от точности подгонки калиброванные сопротивления подразделяются согласно ГОСТ 1845—52 на классы: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0. Цифры, обозначающие класс, показывают наибольшую допустимую погрешность сопротивления, выраженную в процентах.

Глава девятая

ИСПЫТАНИЕ СИЛОВЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 35 *кв*

§ 1. ИСПЫТАНИЕ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

Приемно-сдаточные испытания кабельных линий производятся после окончания всех строительных и монтажных работ. При испытаниях кабельных линий проверяют целость жил, измеряют величину сопротивления изоляции, испытывают изоляцию кабельной линии повышенным напряжением постоянного тока и проверяют их фазировку. Вместе с кабелем испытываются концевые муфты или воронки и опорные изоляторы до разъединителя.

В сетевых условиях испытанию могут подвергаться несколько последовательно соединенных кабельных линий с распределительными устройствами. Испытание параллельных кабелей, присоединенных к отдельным агрегатам (генератор, трансформатор и т. п.), может производиться «пучком», т. е. несколько кабелей одновременно.

Испытание изоляции мегомметром на напряжение 1000—2500 *в* имеет целью выявление грубых нарушений целости изоляции и вполне развившихся местных дефектов (обрывы жил, заземление фаз, резкая асимметрия в изоляции отдельных фаз и т. д.). Этот метод рекомендуется применять до и после испытания кабельных линий постоянным выпрямленным током высокого напряжения.

Сопротивление изоляции кабельной линии при испытании мегомметром не нормируется, однако согласно заводским данным величина сопротивления изоляции трехжильных кабелей с поясной изоляцией напряжением 6 и 10 *кв* составляет 250—300 *Мом.*

Кабельные линии напряжением до 1000 *в* испытываются только мегомметром на 2500 *в*.

Испытание изоляции постоянным током высокого напряжения. Это испытание производится с

целью выявления местных сосредоточенных дефектов, которые не обнаруживаются мегомметром, путем доведения их в процессе испытания до пробоя. Такое испытание напряжением постоянного тока производится от кенотронной установки (рис. 380, *а*). Напряжение от кенотронной установки приклады-

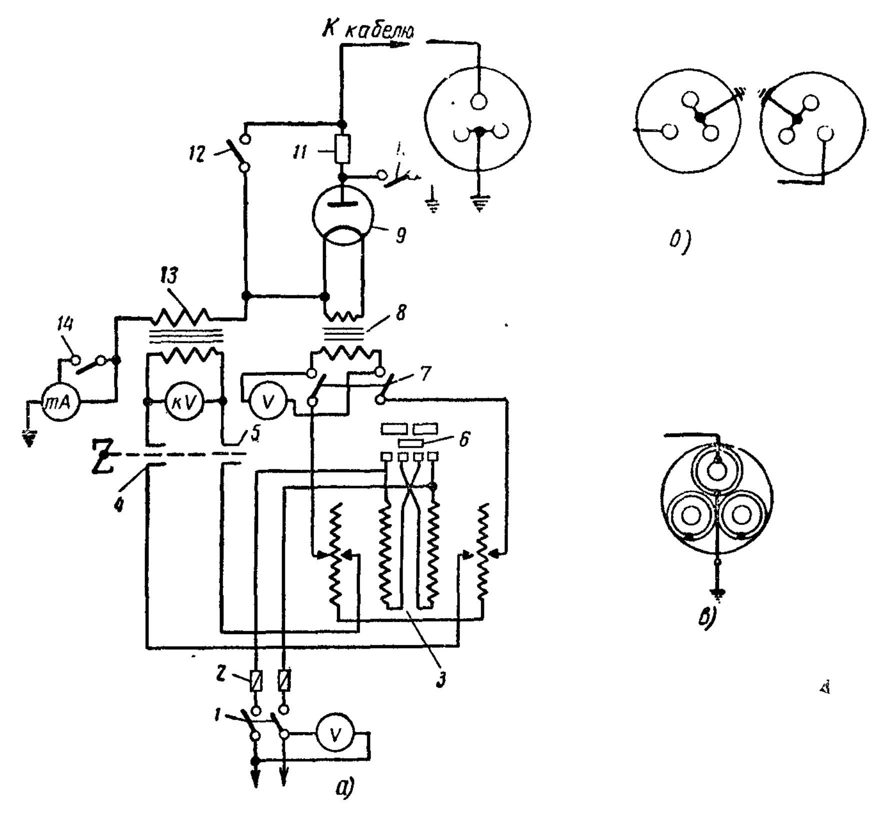


Рис. 380. Испытание кабелей кенотронной установкой:

а — принципиальная схема кенотронной установки: *1* — сетевой рубильник, *2* — предохранители нормальные, *3* — регулировочный трансформатор, *4* — контактор, *5* — вольтметр накала, *6* — переключатель питания, *7* — выключатель накала, *8* — трансформатор накала, *9* — кенотронная лампа, *10* — нож заземления, *11* — сопротивление, *12* — шунты, *13* — испытательный трансформатор, *14* - шунт; *б* — схема испытания кабелей с поясной изоляцией, *в* — схема испытания кабелей с освинцованной оболочкой

вается поочередно к каждой жиле кабеля при одновременном заземлении двух других жил и свинцовой оболочки кабеля (рис. 380, *б*). Для кабелей с отдельно освинцованными жилами напряжение от кенотронной установки прикладывается поочередно к каждой жиле при одновремённом заземлении свинцовой оболочки этой жилы (рис. 380, *в*).

В соответствии с ПУЭ испытание силовых кабелей после

прокладки производится постоянным током выпрямленного напряжения величиною 6 $U_{ном}$ — для кабелей напряжением от 1 до 10 *кв* и 5$U_{ном}$ — для кабелей от 20 до 35 *кв*, где $U_{ном}$ — номинальное напряжение кабеля. Продолжительность испытания каждой фазы кабеля 10 *мин*. Кабель считается выдержавшим испытание, если не произошло пробоя, не было скользящих разрядов и толчков тока или его нарастания после того, как он достиг установившегося значения.

При испытании напряжение должно плавно (1÷2 *кв* в секунду) подниматься до испытательной величины и поддерживаться неизменным в течение всего периода испытания. Отсчет времени производится с момента приложения полной величины испытательного напряжения. Наблюдения за испытанием производятся по часам с секундной стрелкой.

Измерение токов утечки и коэффициента асимметрии. На последней минуте испытания каждой фазы кабельной линии должен быть произведен отсчет по показанию микроамперметра значения величины тока утечки. Измеренные токи утечки и выявленный коэффициент асимметрии утечек по фазам являются дополнительным критерием, характеризующим состояние изоляции кабельной линии и главным образом изоляции концевых муфт или других видов заделок. Опыт эксплуатации показывает, что у кабельных линий с удовлетворительной изоляцией токи утечки находятся в следующих пределах: для кабельных линий напряжением 6—10 *кв* до 350÷500 *мка*; для кабельных линий напряжением 20—35 *кв* до 800 *мка*.

При хорошем состоянии кабеля и надежном состоянии концевых муфт коэффициент асимметрии токов утечки по фазам должен быть не более двух. Однако в некоторых случаях он имеет значительно большую величину. Если при испытании кабельной линии ток утечки будет заметно нарастать, продолжительность испытания следует увеличить сверх 10 *мин*; при дальнейшем нарастании тока утечки испытание, как правило, следует вести до момента пробоя кабельной линии. Если при этом не последует пробоя изоляции, то кабельная линия считается годной для дальнейшей эксплуатации и может быть включена в работу. Если при испытании кабельной линии были отмечены толчки тока, то испытания следует прекратить и приступить к определению места повреждения.

§ 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТ ПОВРЕЖДЕНИЙ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

Причины и виды повреждений. Повреждения изоляции кабельных линий происходят по следующим причинам:

1. Заводские дефекты (трещины или сквозные отверстия в свинцовой оболочке, совпадения нескольких бумажных лент, заусеницы на проволоках токоведущих жил и т. д.).

2. Дефекты монтажа (непропаянные шейки муфт, надломы изоляции на жилах при разводке, плохая пропайка соединительных зажимов, неполная заливка муфт мастикой и т. д.); дефекты прокладки (крутые изгибы на углах, перекрутка кабеля, изломы, вмятины и т. д.); пробои и вмятины, нанесенные при раскопках на кабельных трассах.

3. Повреждения в условиях эксплуатации (коррозия свинцовой оболочки, вызванная действием блуждающих токов, или химическая коррозия от действия грунта; старение изоляции или ее перегрев; обрывы токоведущих жил в кабельных линиях, возникающие при осадках или смещениях грунта на трассе линии, а также при перегорании жил во время короткого замыкания).

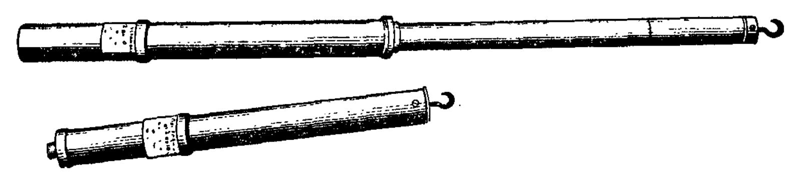


Рис. 381. Внешний вид прибора УВН-80

Повреждения кабельных линий носят различный характер и могут быть подразделены на следующие виды: повреждение изоляции, вызывающее замыкание одной фазы на землю; повреждение изоляции, вызывающее замыкание двух или трех фаз на землю либо двух или трех фаз между собой в одном или разных местах; обрыв одной, двух или трех фаз без заземления или с заземлением как оборванных, так и не оборванных жил; заплывающий пробой изоляции: а) одной фазы на землю; б) одной, двух или трех фаз между собой без заземления и с заземлением.

Определение характера повреждения. Для установления характера повреждения кабельной линии в большинстве случаев достаточно произвести с обоих концов линии: измерение сопротивления изоляции каждой токоведущей жилы кабельной линии по отношению к земле; измерение сопротивления изоляции между каждой парой токоведущих жил.

Определение целости токоведущих жил. Производить измерения на кабельной линии допускается только после всестороннего отключения кабельной линии, проверки на концах ее отсутствия напряжения с помощью указателя высокого напряжения УВН-80 (рис. 381), наложения переносного заземления на все три жилы и вывешивания в необходимых местах плакатов, требуемых правилами техники безопасности. После снятия закоротки приступают к испытаниям кабельной

линии. Измерение сопротивления изоляции каждой жилы кабельной линии по отношению к земле, а также сопротивления изоляции между жилами обычно производится мегомметрами типов МС-02—2500 *в*, МОМ-5—1000 *в* и М-1101—1000 *в*. Результаты измерений, произведенных для определения характера повреждения вместе с его схемой, должны быть занесены в протокол измерения.

Определение целости токоведущих жил производится при установке закоротки с одного конца кабельной линии.

Методы определения места повреждения. После того как определены характер повреждения и схема кабельной линии, выбирается метод, наиболее подходящий для определения повреждения в данном конкретном случае.

При определении мест повреждений в силовых кабельных линиях требуются: высокая точность, при этом погрешность не должна превышать ±3 *м*, что обусловлено трудностью раскопок при расположении кабельных линий под усовершенствованными покрытиями; быстрота, время определения места повреждения не должно превышать нескольких часов, что обусловлено необходимостью скорейшего ввода в эксплуатацию кабельной линии; высокая надежность применяемых аппаратов; безопасность производства работ.

Существующие методы определения мест повреждений силовых кабельных линий целесообразно разделить на две группы: относительные методы, позволяющие определять расстояние от места измерения до места повреждения, и абсолютные методы, позволяющие указывать место повреждения непосредственно на трассе (географически).

Для определения места повреждения применяются оба метода — относительный и абсолютный.

Относительный метод обеспечивает быстроту ориентировочного определения места повреждения, куда должен отправиться измеритель, и уже абсолютным методом уточнить место для раскопок. В настоящее время наибольшее распространение получили описанные ниже методы определения повреждений в силовых кабелях: из абсолютных методов — индукционный и из относительных — импульсный.

Прожигание поврежденных мест изоляции кабельных линий. Для определения места повреждения в кабелях индукционным и импульсным методами необходимо снизить переходные сопротивления в местах повреждений до требуемой величины путем прожигания. Существует большое количество прожигательных установок. Ниже описана испытательно-прожигательная установка, применяемая в Мосэнерго.

Принципиальная схема и общий вид этой кенотронно-газотронной установки, смонтированной на автомашине, показан на рис. 382, *а*, *б*, *в*.

Установка состоит из следующих основных элементов: кенотронного выпрямителя для испытания и предварительного прожигания изоляции в месте повреждения кабельной линии; газотронного выпрямителя для дожигания изоляции в месте повреждения до малых переходных сопротивлений; генератора звуковой частоты для индукционного метода измерения и прожигания места повреждения кабеля. Прожигание мест повреждений на кабеле осуществляется первоначально кенотронной установкой, затем газотронной установкой, а затем при необходимости дожигается током от трансформатора или генератора звуковой частоты.

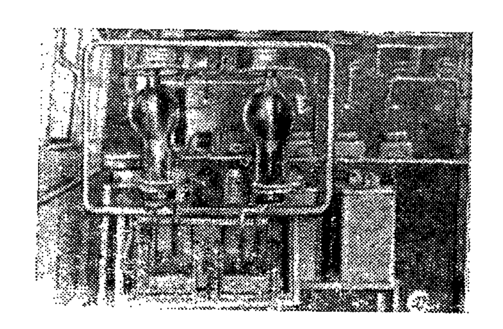
При прожигании после присоединения установки к кабельной линии, в первую очередь, рекомендуется включить накал газотронов для прогрева перед работой в течение 5 *мин.*

Накал кенотронной лампы регулируют по вольтметру *11*. Миллиамперметр устанавливают на шкалу 100 *ма*. После этого повышают напряжение, наблюдая по вольтметру за величиной напряжения, при которой наступает пробой. Напряжение при прожигании необходимо поддерживать таким, чтобы ток не превышал 100 *ма*, т. е. чтобы анод кенотрона не раскалился до красного свечения, что может привести к его разрушению.

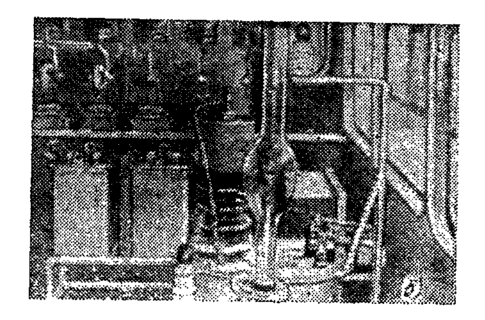
Присоединение газотронной части после снижения напряжения пробоя до 15 *кв* производится следующим образом: прогревают 5—6 *мин* катоды ламп, включают магнитный пускатель *13*, повышают напряжение на трансформаторе *30* до максимального значения и замыкают рубильник *17*, соединяющий обе части устройства (кенотронную и газотронную) на параллельную работу. Когда амперметр газотронной части зафиксирует нагрузку, кенотронную часть можно отключить. Для этого отключается автомат кенотронной части. Напряжение на газотронах поддерживается таким, чтобы ток по амперметру не превосходил допустимой для данной установки величины (1—1,5 *а*). Если внутри газотронов во время работы будут замечены искры (катоды недокалены), необходимо увеличить напряжение накала. Проверка достаточности прожигания производится путем закорачивания рубильником *28* на землю. Если при этом показания амперметра газотрона почти не изменяются, значит сопротивление в месте повреждения доведено до малой величины. Прожигание заканчивают тогда, когда переходное сопротивление в месте повреждения снизится до необходимой величины в зависимости от предполагаемого метода измерений. Величина сопротивления проверяется мегомметром.

В зависимости от места и характера повреждения на кабеле процесс прожигания протекает различно.

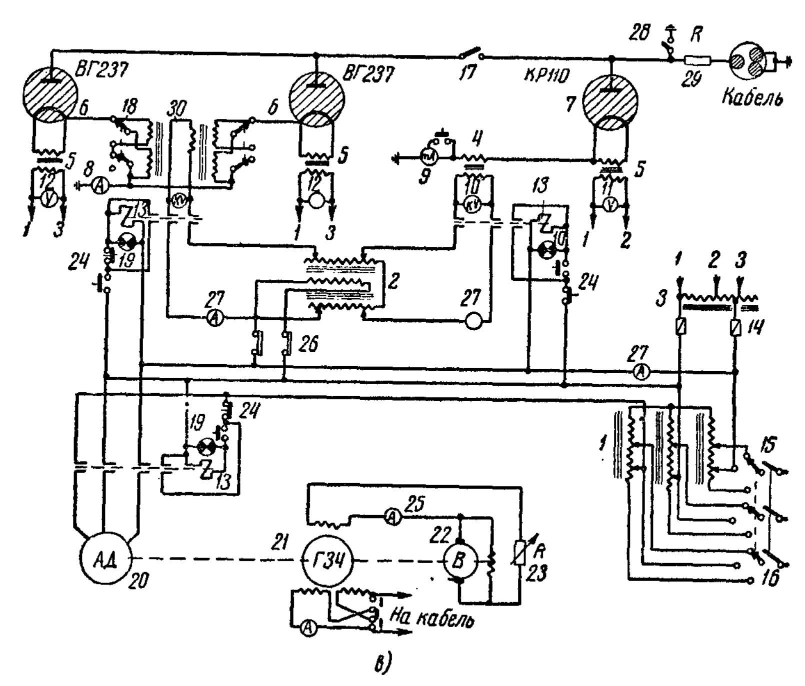
При повреждении в целом месте процесс прожигания протекает спокойно и через 5—10 *мин* сопротивление быстро сни-



а)



б)



в)

Рис. 382. Кенотронно-газотронная установка:

а — общий вид газотронной части, *б* — общий вид кенотронной части, *в* — принципиальная схема; *1* — автотрансформатор 120—220—380 *в*, 7 *ква*; *2* — регулировочный трансформатор 0—250 *в*, 7 *ква*, *3* — регулировочный автотрансформатор 0—250 *в*, 1 *ква*, *4* — испытательный трансформатор 220/42 500 *в*, 6 *ква*, *5* — трансформатор накала, *6* — газотрон, *7* — кенотрон, *8* — амперметр М9, 5 *а*, *9* — миллиамперметр МЭ1 — 100 *ма*, *10* — киловольтметр ЭМ220. 45 200 *в*, *11* — вольтметр МЭ220/18, *12* — вольтметр ЭМ220/6 *в*, *13* — магнитный пускатель ПМ-1, *14* — предохранители 5 *а*, *15* — рубильник трехполюсный 500 *в*, 50 *а*, *16* — переключатель трехполюсный 120—220—380 *в*, 50 *а*, *17* — рубильник однополюсный 5 *а*, *18* — переключатель двухполюсный 5—10 *кв*, *19* — сигнальные лампы, *20* — электродвигатель 3 *квт*, *21* — генератор высокой частоты 3 *квт* 110—220 *в*, 1000 *гц*, *22* — возбудитель, *23* — реостат, *24* — кнопки управления «Пуск», «Стоп», *25* — амперметр 1 *а*, *26* — блок-контакт, *27* — амперметр нагрузки 100 *а*, *28* — нож заземления кабеля, *29* — сопротивление 30 *ком*, *30* — трансформатор газотрона 5—10 *кв*

жается до нескольких десятков ом (исключение составляют кабели с очень жидкой пропиткой, когда прожигание длится несколько дольше).

Если место повреждения находится в воде или в мокром грунте, процесс прожигания протекает также спокойно, но сопротивление изоляции не снижается ниже 2000 *ом* и дальнейшее прожигание никаких изменений не дает.

При повреждении в муфтах прожигание длится больше обычного. Сопротивление колеблется в широких пределах (то снижается, то снова увеличивается), что связано с процессами в прожигаемой муфте. От действия дуги в месте повреждения заливочная масса в муфте расплавляется и заливает место про-

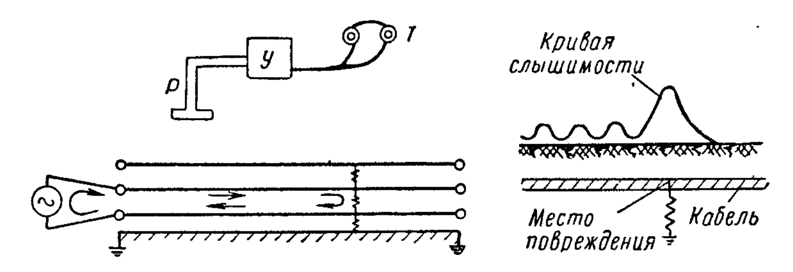


Рис. 383. Схема определения места повреждения индукционным методом при междуфазном замыкании жил

боя изоляции, увеличивая ее сопротивление. Такой неустановившийся характер сопротивления изоляции иногда может продолжаться 1—2 *час.* Если сопротивление в течение этого времени не снижается, необходимо прожигание прекратить и произвести определение зоны повреждения кабельной линии.

Индукционный метод определения места повреждения основан на принципе улавливания магнитного поля над кабелем, по которому пропускается ток звуковой частоты. Метод надлежит применять при пробое изоляции двух или всех трех жил кабеля, а также в случае обрыва жил с одновременным пробоем изоляции между жилами или пробоя изоляции жил на землю.

Метод обеспечивает практически абсолютную точность и имеет широкое распространение.

При применении индукционного метода по кабелю пропускают ток от генератора звуковой частоты (800—3000 *гц*), при этом вокруг кабеля образуется магнитное поле, величина которого пропорциональна величине тока в кабеле. На поверхности земли над кабелем при помощи приемной рамки усилителя и телефона можно прослушать звучание, которое распространяется по пути прохождения тока по кабелю.

При индукционном методе применяется следующая аппаратура: кабелеискатель КИ-2М, ламповый генератор 1000 *гц* с выходной мощностью 20 *ва* типа ЛГ-2, применяемый при определении места повреждения кабелей небольшой длины до 0,5 *км;* машинный генератор мощностью порядка 3 *ква,* 1000 *гц,* ток — 15—25 *а* для кабелей длиной до 10 *км.*

Для определения места повреждения кабеля при замыкании между жилами применяют схему (рис. 383), по которой от генератора подается ток порядка 5—20 *а* на две поврежденные жилы кабеля, а с помощью кабелеискателя КИ-2М (рис. 384) определяется место повреждения. При этом необходимо пройти по трассе с рамкой *Р,* усилителем *У* и телефоном *Т,* улавливая характерное звучание в телефоне от наведенной в рамке усиленной э. д. с. Звуковые сигналы будут слышны на всем участке кабеля, где протекает ток от генератора, т. е. до места повреждения. Над местом повреждения, где ток переходит с одной жилы на другую, образуется некоторое усиление магнитного поля и звук в телефоне заметно возрастает, затухая совсем на расстоянии 0,5 *м* за местом повреждения, что иллюстрируется кривой слышимости (рис. 383).

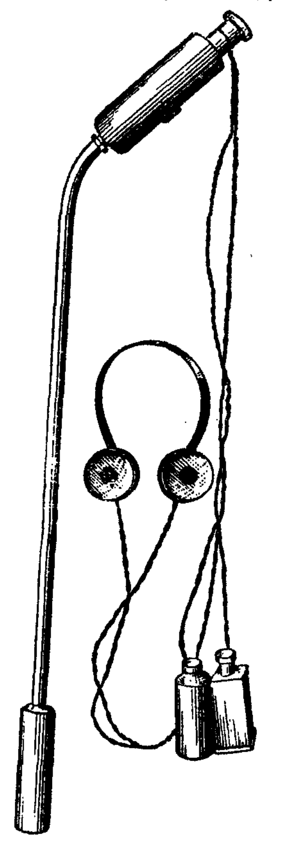


Рис. 384. Общий вид кабелеискателя КИ-2М

Протекающий по жилам кабеля ток создает два концентрических магнитных поля, действующих в противоположных направлениях (рис. 385). При расположении жил кабеля в горизонтальной плоскости результирующее поле на поверхности земли существенно больше, чем при расположении жил в вертикальной плоскости. Кабели имеют скрутку жил с шагом повива от 0,5 до 2,5 *м,* и в приемной рамке усилителя, расположенной вертикально над кабелем, при перемещении его по трассе будут индуктироваться э. д. с., периодически изменяющиеся от минимума (вертикальное расположение жил) до максимума (горизонтальное расположение жил). Таким образом, при передвижении рамки по трассе кабеля в телефоне усилителя будут слышны периодические усиления и затухания звука, которые повторяются совершенно точно через определенные интервалы в зависимости от шага скрутки жил кабеля. В тех

местах, где имеется муфта, длина интервалов слышимости заметно нарушается и прослушивается резкое усиление звука; последнее происходит за счет разводки жил в муфте.

Однако не всегда по всей длине кабеля звук прослушивается хорошо. На некоторых участках кабельной трассы звук исчезает или вместо прерывистого звучания, характерного для двухфазной схемы питания кабеля от генератора, слышен расплывчатый «минимум звука». Это происходит вследствие неправильной скрутки жил кабеля, большой глубины залегания кабеля, экранировки кабеля металлическими трубами.

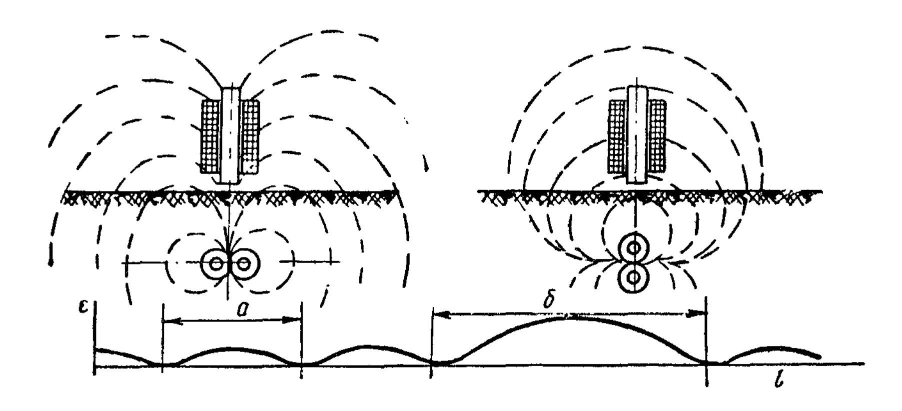


Рис. 385. Магнитное поле в месте повреждения кабеля и кривая слышимости, воспринимаемая кабелеискателем:
а — шаг перерыва кабеля, *б* — участок расположения муфты

Поэтому особое внимание следует обращать на концевой эффект. Если звук прекращается плавно или обрывается без заметного усиления, то это указывает, что кабель ушел на большую глубину или заложен в металлической трубе.

Если же звук усиливается, то рамка находится над местом повреждения. В сомнительных случаях или при очень плохой слышимости рекомендуется производить измерения с двух сторон. В обоих случаях звучание должно прекратиться в одном и том же месте трассы.

Импульсный метод основан на измерении времени пробега кратковременного электрического импульса, посылаемого в поврежденную линию от места измерения до места повреждения (где импульс отражается) и обратно. Например, если обозначить через v скорость распространения электрического импульса в линии и через t_x время пробега импульса до точки отражения и обратно, то расстояние до точки, где имеет место отражение, определится из соотношения:

$$l_x = \frac{t_x}{2} v,$$

где l_x — расстояние до места повреждения, *м*;
t_x — время пробега, *мксек*;
v — скорость, *м/мксек*.

Опытные измерения различных кабельных линий показали, что скорость распространения импульса по кабелю меняется в пределах от 159 до 163 *м/мксек* и в большинстве случаев при определении зоны повреждения может приниматься равной 160 *м/мксек*. В таком случае расстояние от места измерения до места повреждения, где импульс отражается, может быть выражено формулой

$$l_x = \frac{t_x \cdot v}{2} = \frac{t_x \cdot 160}{2} = 80 t_x, \ м.$$

От места обрыва или от конца линии импульс отражается с тем же знаком, от места короткого замыкания — с обратным знаком.

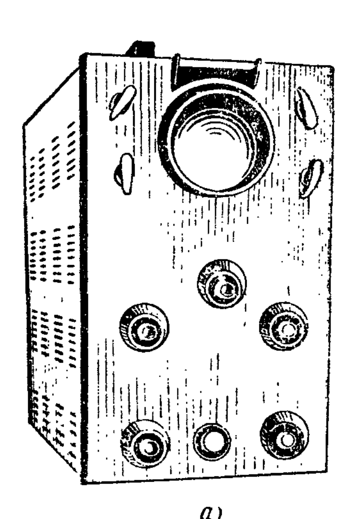
Численные значения скорости распространения импульса и волнового сопротивления, определенные экспериментальным путем, для кабелей типов СБ, ОСБ, СБС на напряжения 3, 6, 10, 35 и 110 *кв* составляют 160±1 *м/мксек* при волновом сопротивлении 30—40 *ом*.

На экране электронно-лучевой трубки прибора ИКЛ при измерении на кабелях имеются линия импульса и линия масштабных отметок времени, которые следуют через 2 *мксек*. Интервал времени между моментом подачи импульса и приходом его отражения определяется формулой $t_x = n \cdot C$ (*мксек*), где n — количество масштабных отметок; C — цена деления масштабной отметки, равная 2 *мксек*. Расстояние до места повреждения по экрану определится формулой

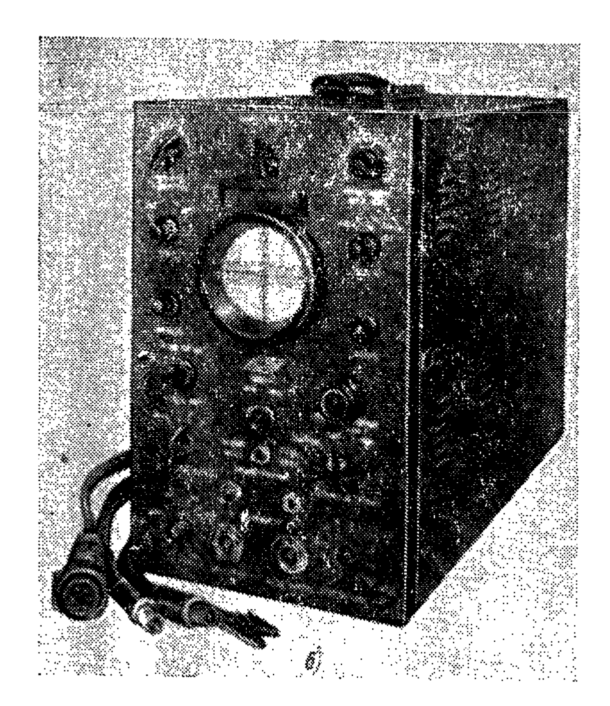
$$l_x = \frac{t_x}{2} \cdot v = \frac{2n}{2} \cdot v = nv, \ м.$$

Для выявления повреждений в кабельных и воздушных линиях применяются приборы ИКЛ.

Методика измерения приборами ИКЛ-4 и ИКЛ-5 одинакова. Прибор ИКЛ-4 предназначен для измерения на кабельных линиях, а прибор ИКЛ-5 пригоден для кабельных и воздушных линий электропередачи и связи, что делает его универсальным. Питание прибора осуществляется от сети переменного тока 50 *гц* с напряжением 110, 127 и 220 *в* и постоянного тока 220 и 12 *в*. Потребляемая мощность прибора — при питании от сети переменного тока 200 *ва* и при питании от постоянного тока 220 *в* 40 *ва* и от 12 *в* 70 *ва*. Вес прибора ИКЛ-5 составляет



а)



б)

Рис. 386. Общие виды прибора ИКЛ-4 (*а*) и прибора ИКЛ-5 (*б*)

27 *кг*. Размеры прибора ИКЛ-5: 240×345×528 *мм*. Внешний вид приборов ИКЛ-4 и ИКЛ-5 представлен на рис. 386.

Измерение прибором ИКЛ производится на отключенной с обеих сторон кабельной линии.

Через 1—2 *мин* после включения питания прибора ИКЛ-5 на экране трубки появляются две линии развертки: на нижней линии наложены масштабные отметки времени, на верхней — посылаемый в кабельную линию импульс. После этого лучи фокусируются и устанавливаются на экране трубки индикатора так, чтобы начало лучей совпадало с левым краем экрана.

При измерении прибором ИКЛ-5 кабельных линий производят следующую установку тумблеров и ручек управления:

а) вращением ручки «Просмотр линии» выводится на экран зондирующий импульс;

б) вращением ручки «Совмещение зондирующего импульса» совмещается передний фронт зондирующего импульса с левым краем основной отметки;

в) ручка «Основная метка» ставится в положение «1»;

г) тумблер «Общий вход» — «Раздельный вход» ставится в положение «Общий вход»;

д) выходное сопротивление устанавливается на 30 *ом*;

е) «Длительность импульса» устанавливается на 0,1—0,3;

ж) ручка «Усиление грубо» переводится в положение «200».

Присоединение прибора к линии осуществляется штекером «Общий вход».

Производство измерения заключается в отыскании на экране прибора отражения от места повреждения и измерения сдвига по времени между моментом посылки в линию зондирующего импульса и моментом прихода его отражения. Полярность отраженного сигнала указывает на характер изменения волнового сопротивления в месте отражения. Выброс вверх соответствует увеличению волнового сопротивления (обрыв или конец кабельной линии), выброс вниз указывает на уменьшение волнового сопротивления (короткое замыкание или замыкание на оболочку).

Имеются кабельные линии, состоящие из участков кабелей различных типов; например, в кабеле СБ встречаются вставки ОСБ или СК (переход через реку), которые могут иметь различные волновые сопротивления. Поэтому при прохождении импульса по кабелю он отражается в местах нарушения однородности и на экране прибора, помимо отражения от места повреждения, просматриваются дополнительные отражения. Отражения создаются и соединительными муфтами. Чтобы не спутать отражение от места повреждения с отражениями от неравномерностей волнового сопротивления кабеля, пользуются методом сравнения отражений на поврежденной жиле и на здоровой.

Прибор присоединяется к кабельной линии проводом, имеющим волновое сопротивление порядка 30—40 *ом*. Сначала желательно ручкой «Скорость развертки» установить такой масштаб изображения, при котором вся линия или большая ее часть могли быть сразу просмотрены на экране прибора. Импульсный генератор прибора ИКЛ-4 вырабатывает зондирующий импульс длительностью 0,3 или 2 *мксек*. При длительности импульса 0,3 *мксек* можно получать удовлетворительные результаты измерения при расстоянии до места повреждения не менее 70 *м*. Для измерения расстояния до места повреждения 3000—10 000 *м* требуется увеличение длительности импульса до 2 *мксек* вследствие затухания на таких расстояниях более короткого импульса.

Импульсный генератор прибора ИКЛ-5 вырабатывает зондирующий импульс длительностью 0,1—0,3; 1; 8 и 15 *мксек*. При установке ручки «Усиление грубо» в положение «пластины», а ручки «Длительность» на 0,1 *мксек* можно производить измерения до места повреждения, расположенного на расстоянии от 15 *м* и более. Следовательно, измерение прибором ИКЛ-5 не требует применения искусственной линии. После ориентировочного установления места повреждения на медленной развертке вращением ручки «Просмотр линии» следует подвести отраженный от места повреждения импульс к левому обрезу электронно-лучевой трубки и ручкой «Скорость развертки» установить такой масштаб изображения, при котором еще может быть отчетливо виден фронт отраженного импульса. После этого производится отсчет.

При точном измерении расстояния до повреждения отсчитывается количество масштабных отметок между передним фронтом посланного и отраженного импульсов; ручкой «Просмотр линии» выводится на экран зондирующий импульс и проверяется точность его совмещения с левым краем основной метки. Далее при вращении этой ручки отсчитывается количество отметок от переднего (левого) фронта посылаемого импульса до начала переднего фронта отраженного импульса. Сначала определяется целое число отметок, а затем — часть последней отметки от ее левого края до начала фронта отраженного импульса. Для удобства отсчета можно пользоваться наложенной на экран индикатора сеткой.

На рис. 387 показан экран электронно-лучевой трубки прибора ИКЛ при измерении на линии, имеющей короткое замыкание жил кабеля (рис. 387, *а*), и при обрыве жилы в муфте (рис. 387, *б*).

Из рис. 387, *а* видно, что от зондирующего до отраженного импульса 2,8 отметки, что соответствует расстоянию

$$l_x = nv = 2{,}8 \cdot 160 = 448 \text{ м}.$$

В расчете принята скорость распространения импульса $v=160$ *м/мксек*, которая применима для большинства кабелей. Измерение с бо́льшей точностью требует измерения скорости распространения фронта импульса в кабеле данного типа. Для этого необходимо знать действительную длину кабеля. Измерив время распространения импульса до конца кабеля $t_{приб}$ и зная действительную длину кабеля, можно определить скорость распространения в нем импульса по формуле

$$v_{ист} = \frac{L}{t_{приб}} \ (мксек).$$

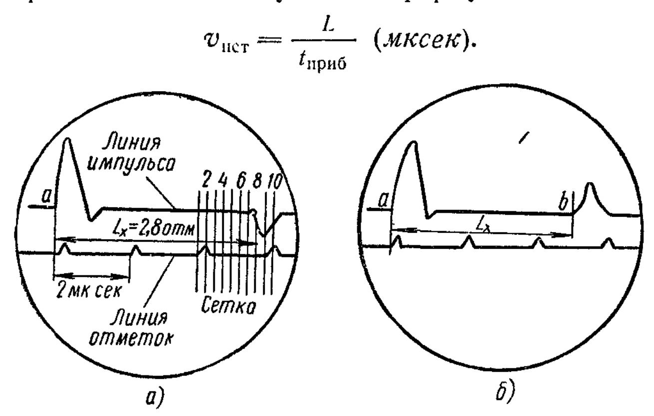


Рис. 387. Экран электронно-лучевой трубки прибора ИКЛ:

а — при измерении на линии, имеющей короткое замыкание жил кабеля, *б* — при обрыве жилы в муфте

Основными преимуществами импульсного метода измерения являются:

абсолютный характер измерений. При этом методе за основу принимаются не длина линии, сечения ее участков и прочие факторы, вносящие погрешности в измерения, а непосредственно по экрану отсчитывается расстояние до места повреждения (поскольку скорость распространения импульса меняется незначительно);

возможность измерения при любом сложном характере повреждения (с соблюдением условия, что переходное сопротивление в месте повреждения не превышает 200 *ом*);

удобство, простота и быстрота измерений.

§ 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРАССЫ И ГЛУБИНЫ ЗАЛЕГАНИЯ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

Определение трассы кабельной линии производится индукционным методом (см. § 2); при этом один вывод генератора звуковой частоты присоединяют к здоровой жиле кабеля, другой — к заземленной оболочке измеряемого кабеля.

Противоположный конец используемой жилы также заземляется (рис. 388).

Величина тока генератора устанавливается от 50 *ма* до нескольких ампер. При наличии сильных помех или большой глубины залегания кабеля ток генератора приходится увеличивать до 15—20 *а*. Силовые линии магнитного поля системы токов «жила-земля» имеют форму концентрических окружностей.

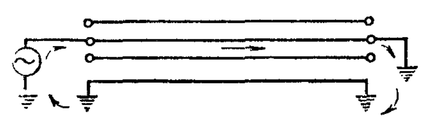


Рис. 388. Схема присоединения генератора звуковой частоты для определения трассы кабельной линии

Если ось приемной рамки кабелеискателя расположена горизонтально в плоскости концентрического поля кабеля (рис. 389, *а*), то над кабелем будет наводиться максимальная э. д. с., так как витки рамки пересекаются максимальным магнитным потоком. При перемещении рамки в стороны от кабеля э. д. с. убывает. Это свойство используется для ориентировочного нахождения трассы. Если ось рамки расположена вер-

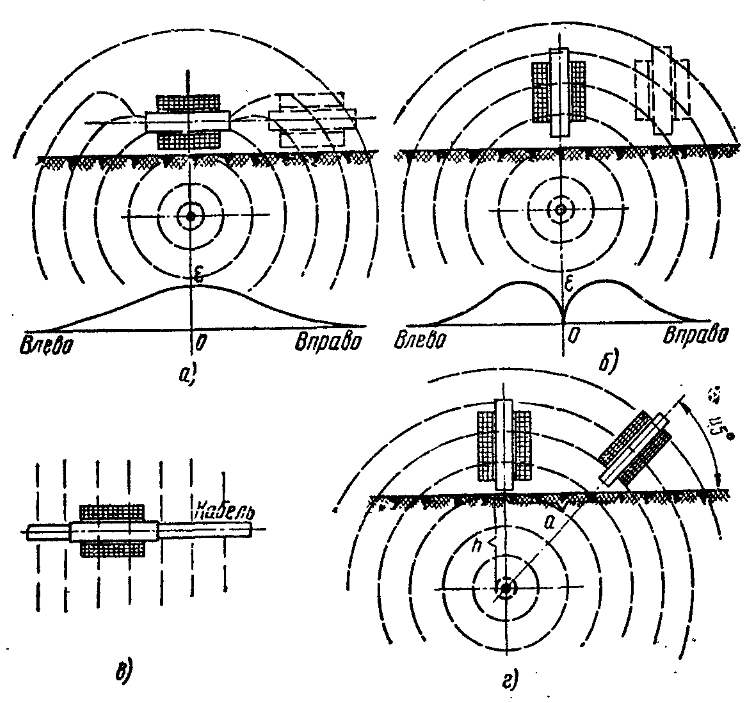


Рис. 389. Пересечение контура приемной рамки магнитным полем:

а, в — при горизонтальном расположении рамки, *б* — при вертикальном расположении рамки, *г* — при повороте рамки под углом 45°

тикально, то точно над кабелем э. д. с. равна 0, так как витки рамки не пересекаются магнитным потоком (рис. 389, *б*). При перемещении рамки в стороны от кабеля э. д. с. будет резко возрастать и затем медленно убывать. Это свойство используется для точного определения трассы кабеля.

Если ось рамки кабелеискателя расположена параллельно оси кабеля (рис. 389, *в*), то э. д. с. равна 0. При нарушении параллельности э. д. с. возрастает, что используется для определения направления трассы кабеля. Иногда вследствие большого сопротивления грунта ток заземления растекается от вывода генератора по оболочкам соседних кабелей, находящихся в это время под рабочим напряжением. При этом минимум звучания получается над тем кабелем, по которому течет этот ток, а кабель, который присоединен к генератору, вовсе не прослушивается. В таких случаях необходимо пользоваться схемой двухпроводного питания, т. е. выводы генератора включаются на две жилы, закороченные с противоположной стороны перемычкой (рис. 390).

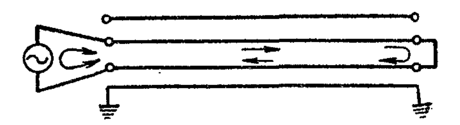


Рис. 390. Схема двухпроводного питания для уточнения трассы кабеля индукционным методом

Определение глубины залегания кабеля, как и его трассы, производится индукционным методом с использованием той же схемы питания (рис. 388). Рамка усилителя ставится в горизонтальное положение и определяется трасса кабеля; место трассы отмечается чертой. Рамка поворачивается таким образом, чтобы ее ось была под углом 45° к вертикальной плоскости, проходящей через кабель. Затем рамка усилителя отводится в сторону от проведенной черты над трассой кабеля. В зоне отсутствия э. д. с. (отсутствие звучания в наушниках усилителя) проводится вторая черта. Расстояние между первой проведенной чертой и второй будет равно глубине залегания кабеля (рис. 389, *г*).

§ 4. ФАЗИРОВКА КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

Метод указателя высокого напряжения. Перед включением кабельных линий в эксплуатацию необходимо обязательно произвести их фазировку, т. е. проверку совпадения одноименных фаз и подготовку включения кабельной линии на параллельную работу.

На рис. 391 показана схема фазировки кабелей и кабельных перемычек напряжением до 10 *кв* с помощью указателя высокого напряжения УВН-80 (рис. 381). Фазировка производится

с помощью двух таких указателей напряжения, в одном из которых вместо конденсатора и неоновой лампы внутри вставлены непроволочные сопротивления на 3—4 *Мом* для 6 *кв* и 6—7 *Мом* для 10 *кв*. Фазируемый кабель присоединяют к источнику напряжения с одного конца. На проводах отключенного выключателя с другого конца кабеля производят фазировку.

Перед фазировкой вначале касаются крючком трубки с неоновой лампой части устройства, находящегося под напряже-

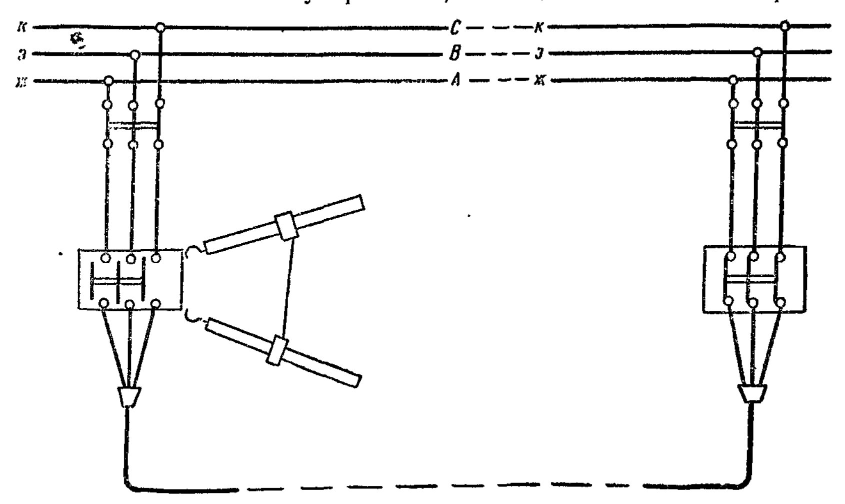


Рис. 391. Фазировка кабелей и кабельных перемычек напряжением до 10 *кв* с помощью указателя высокого напряжения УВН-80

нием, при этом лампа должна загореться; затем, не снимая первого крючка, касаются той же части крючком второй трубки с сопротивлением, лампа при этом должна погаснуть.

Так проверяют исправность действия прибора. После указанной операции крючок указателя подносят к шинному выводу выключателя, а крючок трубки с сопротивлением — к кабельному выводу. Горение неоновой лампы показывает, что фазы разноименные, потухание лампы показывает, что фазы одноименные.

Крючки указателя и трубки сопротивления приближают на расстояние 1—2 *см* к соответствующим зажимам, которые требуется сфазировать. При наличии свечения продолжительность нахождения под напряжением не должна превышать 10—15 *сек* вследствие малой термической устойчивости вмонтированных в трубку непроволочных сопротивлений. При отсутствии свечения для более точного определения разности напряжений допускается касание крючками трубок зажимов аппаратов, меж-

ду которыми производится проверка фазировки. Проводник, соединяющий указатели напряжения с трубкой добавочного сопротивления, должен быть гибким, иметь надежную изоля-

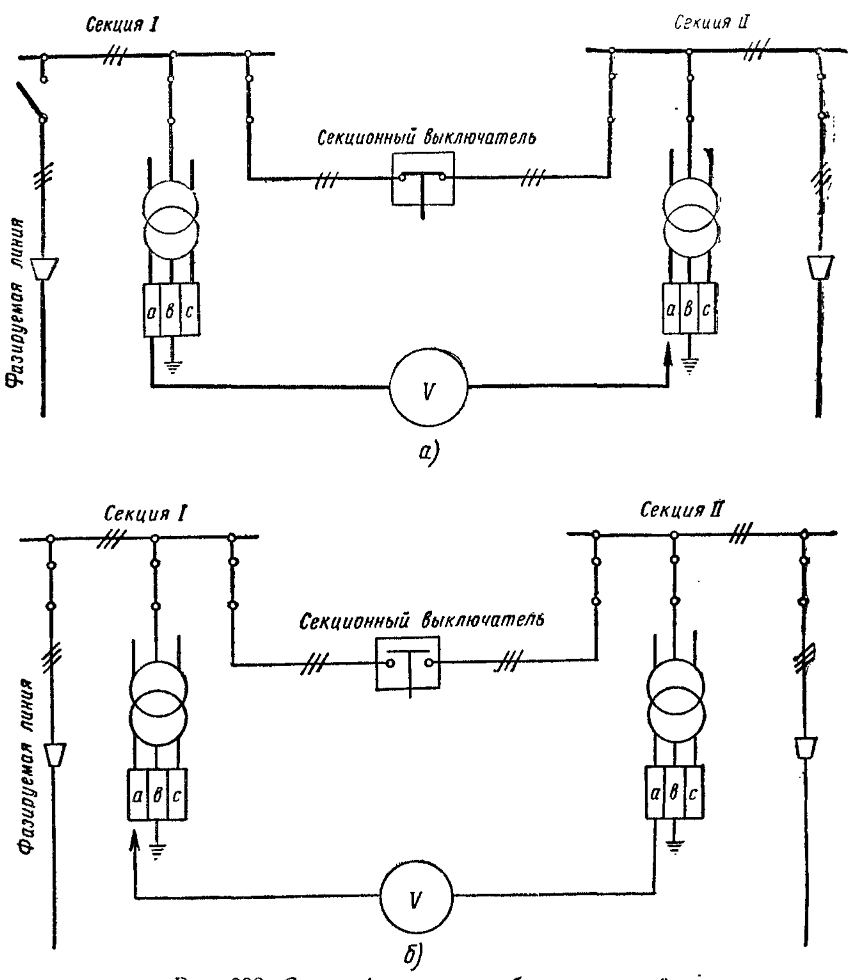


Рис. 392. Схема фазировки кабельных линий:
а — при включенном секционном выключателе, *б* — при отключенном секционном выключателе

цию (например, автотракторные провода ПВЛ, ПВГ) и наконечники, приспособленные для присоединения к металлическим зажимам указателя напряжения.

Трубки с добавочным сопротивлением должны быть чистыми, храниться в специальных чехлах в закрытых помещениях и

подвергаться периодической проверке в лаборатории наравне с другими средствами техники безопасности.

Лицам, производящим испытания, следует работать в резиновых перчатках и ботах, испытанных по действующим нормам, с соблюдением требований действующих правил техники безопасности.

Метод трансформаторов напряжения. Для фазировки применяют также стационарные трансформаторы напряжения (рис. 392). Этим методом можно производить фази-

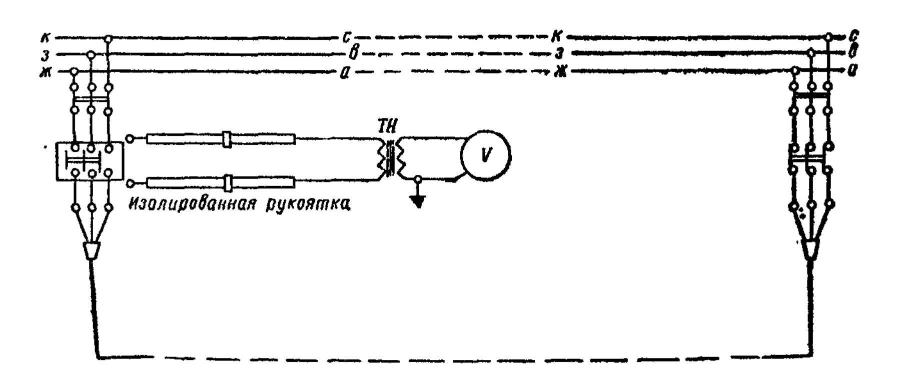


Рис. 393. Фазировка кабельной линии при помощи переносного измерительного трансформатора напряжения

ровку цепей любого напряжения. По схеме, показанной на рис. 392, *а*, при включенном секционном выключателе и отключенной фазируемой линии проверяют фазировку трансформаторов напряжения. По схеме (рис. 392, *б*) при отключенном секционном выключателе и включенной на резервную секцию фазируемой линии производят фазировку линии с системой шин. Нулевое показание вольтметра указывает на одноименность фаз линии системы шин. При этой схеме вместо трансформаторов напряжения могут быть использованы силовые трансформаторы, имеющие одинаковую группу соединений, питающиеся от разных секций шин.

Метод фазировки переносным измерительным трансформатором напряжения (рис. 393) применяется в установках до 10 *кв*. Однофазный измерительный трансформатор напряжения, рассчитанный на линейное напряжение, посредством изолированных рукояток присоединяют поочередно между зажимами фаз системы шин и фазируемого кабеля. Нулевое показание вольтметра указывает на одноименность фаз.

Глава десятая

ИСПЫТАНИЕ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ

§ 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЗАЗЕМЛЕНИИ

Назначение заземления. Для защиты людей от поражения электрическим током, а также по условиям режимов работы электрооборудования и электроустановок выполняется их заземление путем сооружения специальных заземляющих устройств.

Одной из возможных причин поражения людей электрическим током является повреждение изоляции электрооборудования и электроустановок. При таком повреждении прикосновение к металлическому корпусу электрооборудования или электроустановки равносильно прикосновению к голым токоведущим частям. Для защиты людей от поражения электрическим током электроустановки, которые нормально не находятся под напряжением, но могут оказаться под напряжением, заземляются.

В СССР сети напряжением 3, 6, 10 и 35 *кв* работают с изолированной нейтралью трансформаторов и генераторов. Сети напряжением 220 и 380 *в* могут работать как с изолированной, так и с заземленной нейтралью. Однако наиболее распространенными являются четырехпроводные сети 380/220 и 220/127 *в*, которые в соответствии с «Правилами устройства электроустановок» должны иметь заземленную нейтраль.

В электроустановках, кроме того, по условиям режимов работы заземляются разрядники, нейтрали трансформаторов и др.

Заземление в сети. Даже при хорошем состоянии изоляции токоведущих частей электросети по отношению к земле все же проводники ее имеют связь с землей.

Связь эта может быть двоякого рода. Изоляция токоведущих частей имеет какое-то определенное сопротивление по отношению к земле, выраженное в *Мом*. Это означает, что даже через

хорошую изоляцию проводников и землю протекает ток весьма малой величины.

Например, между проводником одной фазы сети и землей напряжение составляет 220 *в*, а измеренное мегомметром сопротивление изоляции этого провода по отношению к земле равно 1 *Мом*. Тогда ток на землю этой фазы по закону Ома будет равен:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220}{1 \cdot 1\,000\,000} = 0{,}00022\ a \text{ или } 0{,}22\ ма.$$

Этот ток называется током утечки. Связь такого рода обусловливается емкостью между проводниками сети и землей. Каждый проводник сети и землю можно представить себе как две обкладки заряженного конденсатора. В воздушных линиях провод и земля являются как бы обкладками конденсатора, а воздух между ними — диэлектриком (изолятором). В кабельных линиях обкладками конденсатора являются жила кабеля и металлическая оболочка, соединенная с землей, а диэлектриком — изоляция между жилами. При переменном напряжении изменение зарядов конденсаторов вызывает возникновение соответствующих переменных токов. Эти, так называемые емкостные токи, в исправной изоляции сети равномерно распределены по длине проводов и в каждом отдельном участке замыкаются через землю. От этих двух родов связи, характерных для исправной изоляции токоведущих частей, следует отличать связь, обусловленную повреждением изоляции, называемую замыканием на землю.

Связь одной фазы с землей называется однофазным замыканием на землю, а возникающий при этом аварийный ток — током однофазного замыкания. Однофазное замыкание вследствие повреждения изоляции не непосредственно на землю, а внутри какого-нибудь электроприемника (электромашины, аппарата и т. п.) на его конструкцию называется замыканием на корпус машины или аппарата. Если при этом электроприемник или конструкция выполнены из металла и не соединены надежно с землей (рис. 394, *а*), то корпус приобретает потенциал фазы сети или близкий к нему. Прикосновение к корпусу равносильно прикосновению к фазе. Через тело человека, его обувь, пол, землю, сопротивления утечки и емкостные сопротивления других фаз образуется замкнутая цепь. Величина тока такой цепи зависит от ее переходного сопротивления и может нанести человеку тяжелое поражение или оказаться для него смертельным. Чтобы предотвратить поражение людей при замыканиях на корпус, все корпуса электроустановок, металлические конструкции и т. п., которые могут оказаться из-за повреждения изоляции под напряжением, должны быть надежно

заземлены (рис. 394, *б*). Как видно из этого рисунка, при наличии заземления человек, прикасающийся к заземленному корпусу, оказавшемуся под напряжением, присоединен параллельно к цепи замыкания на участке между корпусом и землей.

Назначение заземления заключается в том, чтобы создать между корпусом защищаемого устройства и землей электрическое соединение достаточно малого сопротивления, чтобы в

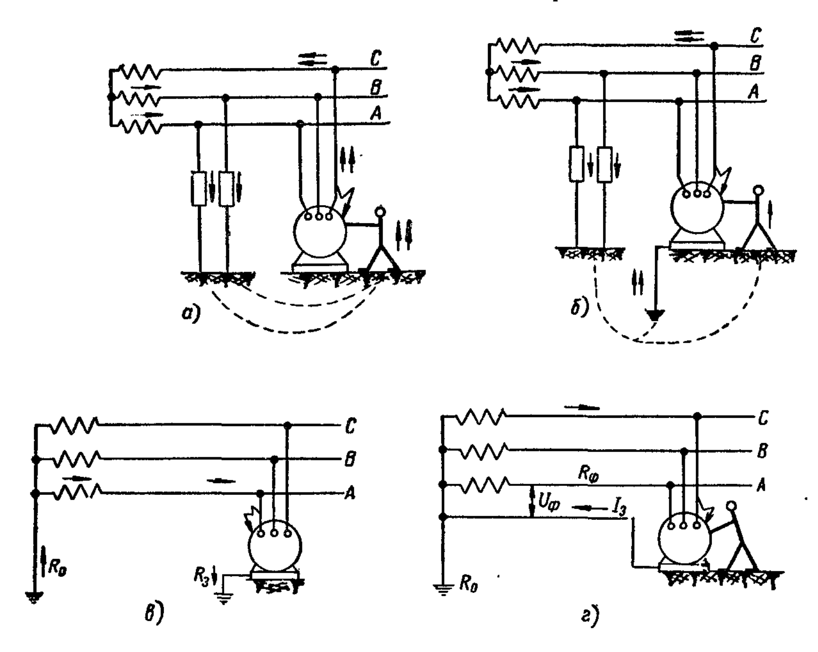


Рис. 394. Схемы замыкания на корпус в сети:

а — с изолированной нейтралью и при отсутствии у электроприемника заземления, *б* — с изолированной нейтралью и при наличии у электроприемника заземления, *в* — с заземленной нейтралью при наличии заземления, *г* — с заземленной нейтралью трансформаторов, металлически соединенной с корпусом электроприемника

случае замыкания на корпус прикосновение к последнему человека (параллельное соединение) не могло вызвать через его тело ток такой величины, который угрожал бы его жизни или здоровью. Следовательно, для обеспечения безопасности пригодно не всякое заземление, а только имеющее достаточно малое сопротивление. На рис. 394, *в* показана схема замыкания на корпус в сети с заземленной нейтралью при наличии заземления, а на рис. 394, *г* — замыкание на корпус в сети с заземленной нейтралью трансформатора, металлически соединенной с корпусом электроприемника. На рис. 395 показан внешний

вид сети с заземленной нейтралью трансформаторов, металлически связанной с корпусами электроприемников (электродвигателей). В этой схеме светильники питаются от фазы к заземленной нейтрали сети, а их арматура заземлена на эту же нейтраль.

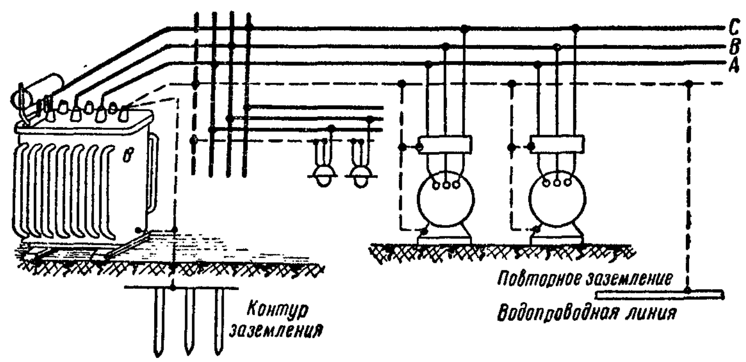


Рис. 395. Внешний вид сети с заземленной нейтралью трансформатора, металлически связанной с корпусами электроприемников

Допустимые величины сопротивления заземляющих устройств. Для обеспечения безопасности заземляющее устройство должно иметь сопротивление по возможности малое и во всяком случае не выше установленных норм, приведенных в табл. 64.

Таблица 64

Допустимые максимальные величины сопротивления заземляющих устройств

Род установки	Сопротивление заземляющего устройства, *ом*
Электроустановки напряжением выше 1000 *в* с малыми токами замыкания на землю:	
а) при одновременном использовании заземляющего устройства в установках напряжением до 1000 *в*	$R \leqslant \frac{125}{I}$, но не более 10
б) только для установок напряжением выше 1000 *в*	$R \leqslant \frac{250}{I_р}$, но не более 10, где $I_р$— расчетный ток (полный ток) замыкания на землю, *а*
То же, но с большими токами замыкания на землю	0,5

§ 2. ИСПЫТАНИЕ СКРЫТЫХ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Приемо-сдаточные испытания заземляющих устройств производятся в следующем объеме: наружный осмотр; измерение сопротивления заземлителя и всех заземляемых элементов оборудования; измерение сопротивления искусственного заземлителя, используемого совместно с естественным заземлителем; проверка целости открытой сети заземляющего устройства.

Наружный осмотр. При наружном осмотре проверяются: количество и размеры заземлителей, проложенных в земле и соответствие их данным проекта (выборочно); состояние прокладки заземляющих проводников; надежность сварки в местах соединений заземляющих проводников; глубина заложения заземляющих устройств в земле; осуществление связи между искусственными и естественными заземлениями.

Техническое состояние заземляющих устройств должно соответствовать требованиям глав 1—7 и 1—8 «Правил устройства электроустановок». В частности, сечения заземляющих проводников в электроустановках напряжением до 1000 *в* должны быть не менее величин, приведенных в табл. 65.

Таблица 65

Минимальные сечения заземляющих проводников

Наименование	Медь, *мм*²	Алюминий, *мм*²
Голые провода при открытой прокладке	4	6
Изолированные провода	1,5	2,5

Измерение сопротивления заземляющих устройств и заземлителей. Испытания заземляющих устройств, как правило, производятся зимой или летом, когда грунт обладает наибольшим сопротивлением. Не рекомендуется производить измерения после прохождения сильных дождей. Сопротивления искусственного заземляющего контура и естественного контура должны по возможности измеряться раздельно, если есть возможность их разделить.

Существуют три наиболее распространенных способа измерения сопротивления заземлителей: с помощью амперметра-вольтметра; амперметра-ваттметра и непосредственного измерения сопротивления с помощью прибора-измерителя заземлителей и заземляющих устройств завода «Энергоприбор» типа МС-08. Этими способами измеряют ток, проходящий через заземлитель и заземляющее устройство, и падение напряжения в них. При каждом из этих способов создается искусственная

нагрузочная цепь через испытуемый заземлитель. Для этого на некотором расстоянии от него сооружается вспомогательный заземлитель. Испытуемый и вспомогательный заземлители присоединяются к источнику питания, и через землю пропускается нагрузочный ток. Для измерения падения напряжения в заземлителе в зоне нулевого потенциала сооружается зонд. Специальное сооружение искусственного заземлителя и зонда не обя-

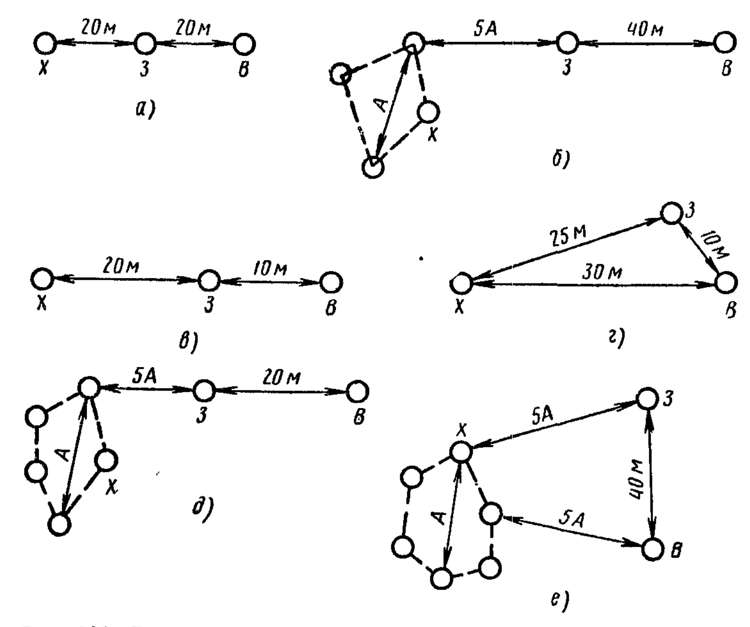


Рис. 396. Взаиморасположение заземляющих устройств и зондов при различных способах измерения:

а — при измерениях способом амперметра-вольтметра или амперметра-ваттметра, испытуемое заземляющее устройство одиночное, *б* — то же, но испытуемое заземляющее устройство сложное, *в*, *г* — при прямом измерении сопротивления (измерителем заземления МС-08), испытуемое заземляющее устройство одиночное или сосредоточенный очаг, *д*, *е* — то же, но при сложных заземляющих устройствах; *А* — наибольшая диагональ контура, *Х* — испытуемое заземляющее устройство, *З* — зонд, *В* — вспомогательный заземлитель

зательно и в качестве их можно использовать расположенные на приемлемом для этой цели расстоянии от испытуемого заземлителя металлические предметы, зарытые в землю. Минимальные расстояния между заземлителями и зондом для различных конструкций испытуемого заземлителя и различных способов измерения приведены на рис. 396, *а* — *е*. Расстояния, приведенные на этом рисунке, действительны для случаев, когда в земле вокруг заземлителей и зонда нет металлических сооружений (трубопроводов и бронированных кабелей). При наличии последних вспомогательный заземлитель должен быть

забит на расстоянии не менее 100 *м* от них, а зонд — на расстоянии не менее 50 *м*. Длина трубы или лома, из которых сооружается вспомогательный заземлитель или зонд, должна составлять 0,8—1 *м*, диаметром 10—20 *мм*.

Метод амперметра и вольтметра. Измерения производятся по схеме рис. 397, *а* с нагрузочным трансформатором (для устранения влияния утечки сети на результаты измерения). Метод измерения при помощи амперметра и вольтметра заключается в следующем. Через заземляющее устройство *X*, сопротивление заземления которого измеряется, и вспомогательное заземление *B* пропускается ток достаточной величины $10 \div 20$ *а*; при помощи вольтметра измеряется падение напряжения в испытуемом заземляющем устройстве *X*, для чего вольтметр включается между ним и зондом *З*, расположенным в точке, удаленной от электрических цепей не менее чем на 20 *м*. Зная величину тока и падение напряжения в испытуемом заземляющем устройстве, сопротивление его определяется по формуле

$$R_з = \frac{U}{I} \ ом,$$

где I — ток, проходящий через контур;

U — падение напряжения в испытуемом заземляющем устройстве.

Определенная по формуле величина сопротивления будет соответствовать действительному сопротивлению заземляющего устройства, если при измерениях и нахождении зонда в зоне нулевого потенциала, внутреннее сопротивление вольтметра значительно больше сопротивления зонда; суммарное сопротивление вольтметра и зонда намного больше сопротивления испытуемого заземляющего устройства.

Для большей точности измерения должно быть создано большое падение напряжения в сопротивлении испытуемого заземляющего устройства, что достигается увеличением нагрузочного тока. Сопротивление заземляющего устройства измеряется при отсоединенных заземляющих проводниках. Если вблизи заземляющего устройства и зонда в земле будут находиться трубопроводы и бронированные кабели, по которым протекают блуждающие токи от других источников, то испытуемое заземляющее устройство и зонд могут оказаться включенными на разность потенциалов, вызванных этими токами. Эта разность потенциалов может внести погрешность в измерения. Поэтому вольтметр включают между зондом и испытуемым заземляющим устройством до подачи нагрузочного тока и проверяют отсутствие постороннего напряжения. При наличии незначительного постороннего напряжения никаких мер к его уменьшению не принимают. При значительной величине постороннего напря-

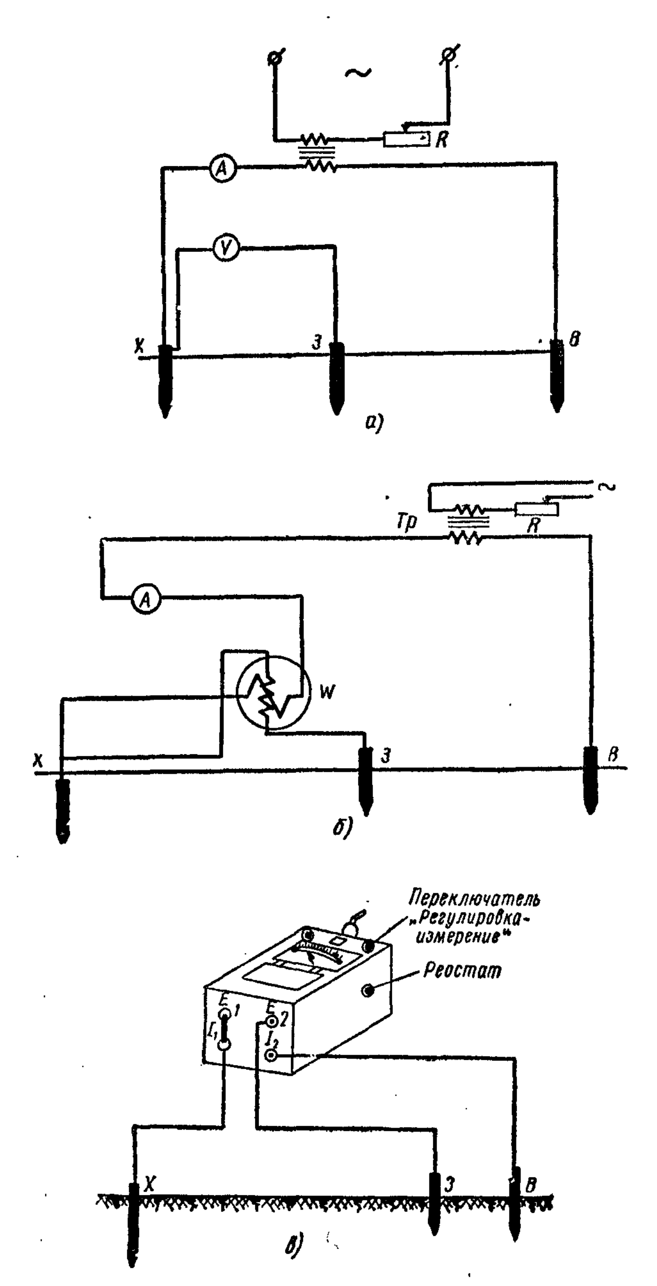


Рис. 397. Схема измерения сопротивления заземления:
а — способом амперметра и вольтметра, *б* — ваттметром, *в* — переносным измерителем заземления

жения приходится менять место забивки зонда, а иногда и вспомогательного заземлителя, или, если есть возможность, выяснить причину наличия постороннего напряжения и устранить его, после чего приступить к испытаниям. Для этого отсоединяют вольтметр и подают питание на нагрузочный трансформатор. С помощью реостата *R* устанавливают необходимый ток и присоединением вольтметра измеряют падение напряжения. Вольтметр должен быть присоединен к заземляющему устройству отдельным от амперметра проводом, как показано на рис. 397, *а*. В противном случае при нарушении соединения общего провода с заземляющим устройством с сохранением соединения вольтметра с амперметром первый может оказаться под полным напряжением вторичной обмотки трансформатора (если сопротивления зонда и вспомогательного заземлителя ничтожны по сравнению с сопротивлением вольтметра) и вольтметр будет поврежден. При большом нагрузочном токе (10—20 *а*) способом амперметра-вольтметра с достаточной точностью можно измерить весьма малые сопротивления заземляющих устройств до сотых долей ома. Желательно, чтобы используемый вольтметр имел несколько пределов измерения.

При испытаниях заземляющих устройств методом амперметра-вольтметра должны применяться вольтметры с большим внутренним сопротивлением на малых пределах измерений (до 15 *в*). К таким вольтметрам, позволяющим измерять сотые доли вольта, относятся: электронный МВЛ-2М (класс точности 3, входное сопротивление 1,8 *Мом* для пределов измерения 3—300 *в*), электронный ВКС-7Б (пределы измерения 1,5—150 *в*, входное сопротивление 4 *Мом*, класс точности 3).

Для измерения величины тока применяются амперметры АСТА с пределами измерений 2,5—5 *а* класса точности 0,5 и трансформатор УТТ-5 класса точности 0,2.

Метод амперметра-ваттметра. Не всегда в распоряжении имеется электронный вольтметр или электростатический с повысительным трансформатором, а также не всегда имеется обычный вольтметр на малые пределы измерения. В таких случаях вольтметр может быть заменен электродинамическим ваттметром лабораторного типа АСТД. При использовании зажима «1000 *ом*» параллельная цепь этого ваттметра будет соответствовать вольтметру со шкалой 30 *в* и внутренним сопротивлением 1000 *ом*. При этом ваттметр даст более точные показания, чем вольтметр с пределами 7,5—60 *в*, внутреннее сопротивление которого соответственно равно 25—600 *ом*. Указанный ваттметр при использовании зажима «1000 *ом*» при 30 *в* дает полное отклонение стрелки, если в его токовой цепи протекает ток 5 *а*. При этом способе также принимают меры, исключающие влияние постороннего напряжения

(рис. 397, *б*). Расчет сопротивления заземлителя производится по формуле:

$$R_з = \frac{W}{I^2} \text{ ом},$$

где W — показания ваттметра, *вт;*

I — показания амперметра, *а*.

Способ измерения при помощи амперметра и ваттметра обеспечивает достаточно точный результат, когда падение напряжения на заземляющем устройстве составляет не менее 5 *в*. Непосредственное измерение тока не всегда возможно. В этом случае применяют измерительный трансформатор тока. При этом класс точности амперметра, трансформатора тока, а также ваттметра должен быть не ниже 1,5. В качестве измерительного трансформатора (Тр) могут быть использованы сварочные или понижающие трансформаторы серии ТБ соответствующей мощности. Для регулирования нагрузочного тока в зависимости от мощности выбранного нагрузочного трансформатора могут быть использованы ползунковые или жидкостные реостаты.

Прямое измерение сопротивления заземлителя. В последние годы широкое распространение получил метод, проводимый с помощью переносного прибора-измерителя заземляющего устройства. Этот метод очень прост, так как не требует постороннего источника питания и дополнительной испытательной аппаратуры (силового трансформатора, вольтметра, амперметра, трансформатора тока и т. д.). Он особенно удобен для измерения сопротивления заземляющих устройств опор воздушных линий, отдельно стоящих молниеотводов, сетевых подстанций, трансформаторных пунктов и других объектов, расчетное сопротивление заземления которых обычно бывает более 0,5 *ом*.

Прямое измерение сопротивления заземляющего устройства производится измерителем заземления (МС-07, МС-08). Действие прибора основано на измерении тока и напряжения, но шкала прибора отградуирована на отношение напряжения на испытуемом заземляющем устройстве к нагрузочному току, т. е. в омах с тремя пределами измерения 0—10—100—1000 *ом*. Второй особенностью прибора является наличие в нем собственного источника нагрузочного тока — генератора постоянного тока, приводимого от руки. Прибор имеет четыре выводных зажима E_1, I_1, E_2, I_2, по различному используемых в различных измерительных схемах. При измерениях сопротивления заземлителя между зажимами E_1 и I_1 устанавливается глухая перемычка и присоединение прибора производится по схеме рис. 397, *в*. Поскольку прибор отградуирован при определенном сопротивлении потенциальной цепи (цепи напряжения), куда

входит и сопротивление зонда, то при измерениях с различными сопротивлениями зонда сопротивление потенциальной цепи необходимо привести к условиям выполненной градуировки. Это производят с помощью встроенного реостата, головка которого расположена на боковой стенке прибора.

Измерения выполняются в следующем порядке: собирается схема по рис. 397, *в*; при неподвижном генераторе ведут наблюдение за стрелкой. Если стрелка отклоняется, следовательно, имеется влияние блуждающего постоянного тока. При дрожании стрелки следует предполагать наличие блуждающего переменного тока; переключатель «регулировка-измерение» устанавливают в положение «регулировка»; генератор приводят в движение со скоростью около 20 *об/мин*, при этом с помощью встроенного реостата стрелку прибора устанавливают по красной черте шкалы. Если не удается стрелку установить по красной черте, то необходимо принять меры к уменьшению сопротивления зонда; переключатель режима устанавливают в положение *1*; вращая генератор, одновременно отсчитывают по шкале сопротивление испытуемого заземляющего устройства, если показание прибора меньше 100 *ом*, переключатель переставляют на отметку *10*. При этом отсчет по шкале необходимо делить на 10; если показание прибора меньше 10 *ом*, переключатель переставляют на отметку *100* и показание прибора делят на 100; если перед измерением было замечено наличие блуждающих токов, то измерения производятся при таких оборотах, при которых влияние этих токов исключается.

При выбранном положении переключателя пределов производят 2—3 измерения и принимают среднее. При сопротивлении заземляющего устройства меньше одного ома погрешность может превышать 10%.

Если сопротивления вспомогательного заземлителя и зонда велики, то погрешность будет еще большей. Для того чтобы погрешность сохранить в пределах $\pm 10\%$, сопротивление вспомогательного заземлителя не должно быть больше: для первого предела измерения (0 — 10 *ом*) — 250 *ом*, для второго предела (0 — 100 *ом*) — 500 *ом*, для третьего предела (0 — 1000 *ом*) — 1000 *ом*. Сопротивление зонда во всех случаях не должно превышать 1000 *ом*.

Несоответствие сопротивления вспомогательного заземлителя принятому пределу измерения можно заметить по неуверенному поведению стрелки на этом пределе. Если такое явление имеет место, то желательно измерить сопротивление вспомогательного заземлителя и принять меры для его уменьшения. Для измерения сопротивления вспомогательного заземлителя достаточно поменять местами провода, присоединенные к зажимам I_1 и I_2.

Если сопротивление испытуемого заземляющего устройства

слишком мало и по местным условиям измерительные приборы невозможно установить близко к этому заземляющему устройству, то сопротивление длинного соединительного провода в данном случае может внести значительную погрешность в производимые измерения. Чтобы в этих случаях исключить влияние соединительных проводов, необходимо снять глухую перемычку между зажимами I_1 и E_1 прибора и эти зажимы соединить с испытуемым заземляющим устройством самостоятельными проводами.

§ 3. ПРОВЕРКА ОТКРЫТОЙ СЕТИ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ

При проверке обращается внимание на надежность контактов и целость заземляющих проводников, соединяющих заземляемые части установки и корпуса оборудования с заземляющей сетью. Надежность контактов и целость заземляющих проводников проверяются наружным осмотром, а также методом измерения сопротивления постоянному току (например, мостом ММВ). При измерении один зажим может присоединяться к заземляемой части электроустановки, а другой — к сборной заземляющей линии или к основному заземляющему устройству. Сопротивление заземляющего проводника и контактов обычно составляет не более 0,05 *ом*.

Глава одиннадцатая

ОРГАНИЗАЦИЯ ПУСКОНАЛАДОЧНЫХ РАБОТ И СОСТАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

§ 1. ОРГАНИЗАЦИЯ НАЛАДОЧНЫХ РАБОТ

Объем работ. При вводе в строй нового промышленного объекта наладочные работы являются заключительным этапом монтажных работ перед сдачей электроустановки в эксплуатацию. Наладочные работы являются связующим звеном между проектными и строительно-монтажными работами, с одной стороны, и нормальной эксплуатацией — с другой. Наладочные работы должны обеспечить в соответствии с проектом и Правилами технической эксплуатации и другими директивными материалами экономичную, надежную и безаварийную работу электроустановок в эксплуатации.

В этих целях наладочный персонал производит: проверку соответствия установленного оборудования и выполненного монтажа — проекту; проверку каждого элемента схемы с целью определения их пригодности по качеству и своим характеристикам; настройку каждого элемента схемы на заданный режим, определяемый техническими условиями и расчетными данными проекта; проверку правильности выполненной коммутации схем; проверку правильности взаимодействий и взаимосвязей всех элементов схемы под напряжением; наладку и комплексное испытание электрооборудования вхолостую и в рабочих режимах, обусловленных требованиями технологии производства; окончательную регулировку и настройку всех элементов схемы для достижения четкой и безотказной работы как в рабочих, так и переходных режимах; введение в нормальную эксплуатацию электроустановки и наблюдение за ее работой в первый период эксплуатации; разработку и сдачу технической документации по наладке.

При производстве наладочных работ выявляются и устраняются дефекты проектирования и монтажа, вносятся возможные улучшения в схемы и аппаратуру.

Подготовка к наладочным работам. Перед началом работы бригадиром и ведущими наладчиками должны быть изучены проектные материалы, заводские данные по электрооборудованию и результатам испытаний, расположение электрооборудования и механизмов, схемы электрических соединений и т. п.

На основании изучения технической документации и в соответствии с ПТЭ и ПУЭ выявляется объем наладочных работ и необходимые для этого приборы и аппараты и составляются программы их проведения по отдельным видам электрооборудования, с указанием порядка и последовательности операций, а в отдельных случаях — предлагаемой методики наладки.

Техническое оснащение бригад. До начала наладки производится подбор и комплектование электроизмерительной аппаратуры, инструмента, бланков протоколов испытаний в необходимом количестве, технической документации и защитных средств безопасности. Все измерительные приборы должны быть предварительно проверены и опломбированы. Необходимо, чтобы вся аппаратура, в особенности сложная, была снабжена паспортами и заводскими инструкциями по уходу и пользованию. Защитные средства по технике безопасности должны иметь клеймо с датой последней проверки.

Организация наладочных работ. Состав бригады определяется объемом и сложностью налаживаемого объекта, а также сроками ввода его в эксплуатацию. Весь персонал бригады должен пройти проверку знаний Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок станций и подстанций, Правил технической эксплуатации и безопасности обслуживания электроустановок промышленных предприятий и получить удостоверение с указанием квалификационной группы. Перед началом работы на объекте необходимо подготовить весь состав бригады к предстоящей наладке. Для этой цели руководитель бригады знакомит исполнителей с основными характерными данными объекта и условиями работы на нем, расположением электроустановок, особенностями схем управления, режимами работы оборудования и т. д.

Намечается также расстановка исполнителей на объекте. Каждый из ведущих наладчиков более детально изучает проектные материалы отдельных видов оборудования, которые ему предстоит налаживать.

В процессе выполнения наладочных работ проводится инструктаж и систематическое обучение персонала бригады по заранее утвержденной программе. Необходимо также рекомендовать проведение периодических производственных совещаний всего состава бригады (примерно раз в неделю), на которых делаются сообщения каждого звена о ходе работ на своем участке, об имеющихся затруднениях, происходит обмен опытом

между наладчиками, намечаются сроки испытаний и решается ряд других технических вопросов. Руководитель бригады на совещаниях подводит итоги по прошедшему этапу наладки, оценивает работу звеньев и информирует об очередных задачах, стоящих перед бригадой.

Определение готовности объекта для наладки и передача в наладку. Руководитель бригады детально знакомится с состоянием строительно-монтажных работ и определяет, в какой последовательности и в каком объеме могут быть начаты наладочные работы. Совместно с представителями монтажной организации и заказчика составляется календарный график передачи отдельных участков или узлов в наладку, с указанием сроков окончания электромонтажа и наладки, опробования отдельных механизмов, электрооборудования и электроустановки в целом. Как правило, передача в наладку отдельных узлов электроустановки осуществляется после окончания электромонтажных работ и оформляется соответствующим актом представителем монтажной организации, руководителем бригады наладчиков и представителем заказчика. Для сокращения сроков довольно широко практикуется совмещение монтажных и наладочных работ.

Разбивка объекта на наладочные участки, организация наладочных звеньев, выдача заданий наладчикам. После ознакомления с объектом руководитель бригады разбивает работы по участкам и в зависимости от сложности и объема наладки организует наладочные звенья. Перед выдачей задания отдельным звеньям руководитель бригады должен подробно проинструктировать наладчиков как в отношении технических особенностей схем, характеристик отдельных ее элементов, методики наладочных операций и пр., так и в части обеспечения мер по технике безопасности.

Руководитель бригады должен убедиться, что каждый исполнитель вполне усвоил задание, свои обязанности, технику выполнения и инструктаж по технике безопасности. Как общее правило, задание должно охватывать определенный узел с выполнением всех необходимых наладочных операций вплоть до ввода в эксплуатацию. Эти работы должны производиться одним звеном, по возможности без изменения его состава. В некоторых случаях, при наличии большого количества одинаковых схем (высоковольтные питающие линии, вспомогательные механизмы и т. п.) и территориальной близости расположения объектов, — целесообразно в начальной стадии наладки разбить все работы на однотипные операции и выполнение каждой из них на всех объектах поручить одному звену (например, испытание трансформаторов тока, снятие характеристик электромашин и пр.). Такая система ускоряет ход наладки, так как одна собранная испытательная схема применяется

для производства аналогичных операций на многих других объектах и, кроме того, создаются навыки быстрой работы у наладочного персонала. Однако в этих случаях доведение до полного окончания наладки каждого объекта следует поручать одному и тому же звену.

Каждое наладочное звено обеспечивается комплектом измерительных приборов и аппаратуры, принципиальными и монтажными схемами, бланками протоколов наладки (образцы некоторых бланков даны в приложении).

Помимо измерительных приборов и аппаратуры, для проведения пусконаладочных работ необходимо иметь набор инструмента и инвентаря, содержащий:

а) специализированный комплект монтерского инструмента с изолирующими ручками — пассатижи, отвертки, ключи, пинцеты, плоскогубцы, круглогубцы, паяльники, индикатор напряжения до 500 *в* и монтерский нож (рис. 336);

б) комплект слесарного инструмента для бригады, в который входят гаечные ключи, в том числе раздвижные и накидные, напильники, тиски слесарные, молотки, ножовки, ручная дрель, электрическая дрель, штангенциркуль, стальная рулетка, микрометр и др.

в) комплект инвентаря по технике безопасности, состоящий из: индикатора напряжения УВН-80 на 10 *кв*, диэлектрических резиновых перчаток, бот, ковриков, защитных очков, штанги, набора плакатов, аптечки (рис. 398);

г) переносные лампы с изолирующими ручками, с защищенной арматурой и гибким шланговым проводом длиной 15—20 *м*;

д) карманные фонари с запасом батареек;

е) пломбиры с запасом пломб для пломбирования проверенных реле и аппаратов;

ж) телефонные трубки с батарейками МБ для прозвонки схем.

Кроме того, необходимо иметь: рубильники двух- и трехполюсные, наконечники типа «крокодил» и провод различных типов, в том числе резиновый трех- и четырехжильный шланг типа «магнето», провод экранированный и т. д. для сбора временных электрических схем.

Список в зависимости от вида и объема работ уточняется руководителем бригады перед выездом на объект.

Наряду с инструментом, приборами и аппаратурой бригада должна быть обеспечена рабочими тетрадями для наладчиков, блокнотами или общими тетрадями.

Материальную ответственность за целость и сохранность приборов и документации несет ведущий наладчик звена.

Индивидуальный комплект монтерского инструмента каждый наладчик получает под свою личную ответственность для постоянного пользования.

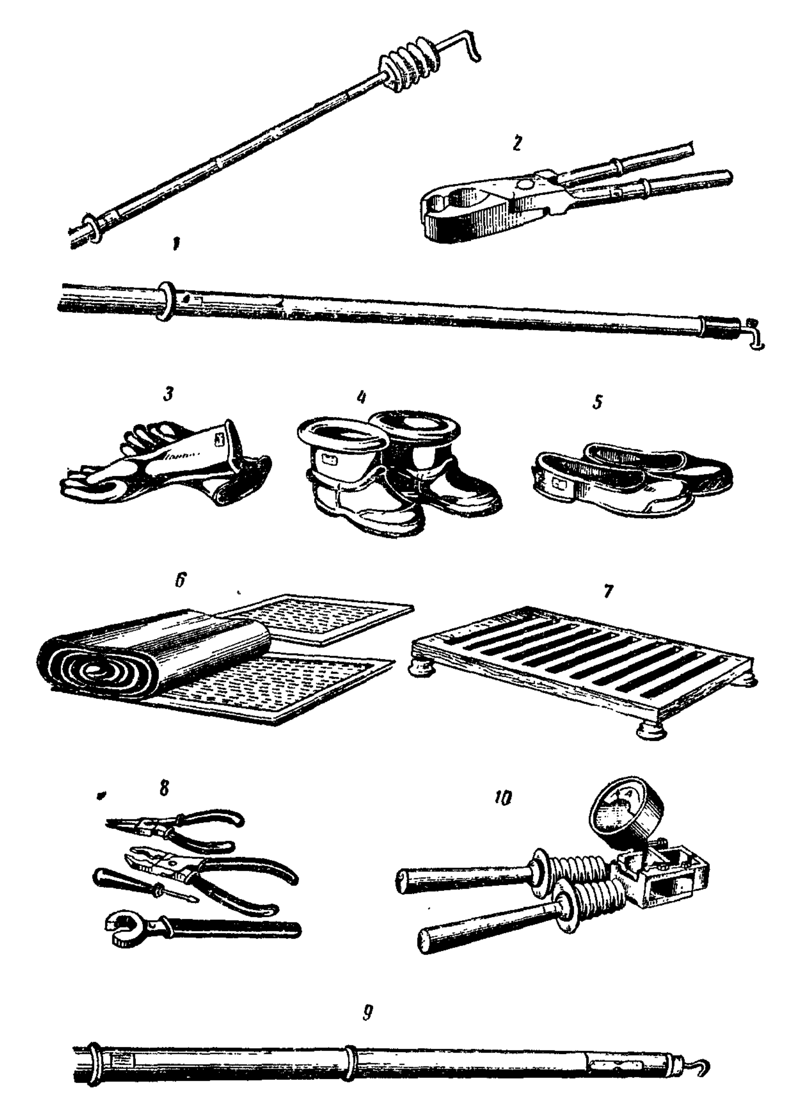


Рис. 398. Комплект инвентаря по технике безопасности:

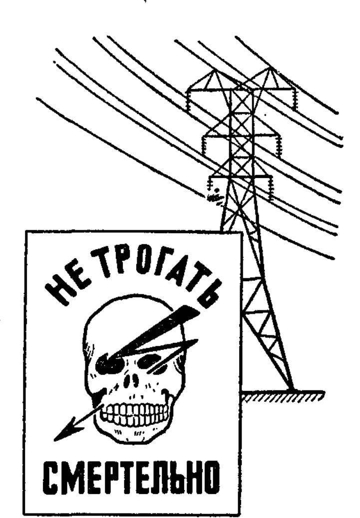
1 — штанги, *2* — клещи, *3* — диэлектрические перчатки, *4* — диэлектрические боты, *5* — диэлектрические галоши, *6* — резиновый коврик, *7* — изолирующая подставка, *8* — инструмент с изолирующими ручками, *9* — индикатор УНВ-80, *10* — токоизмерительные клещи





а)

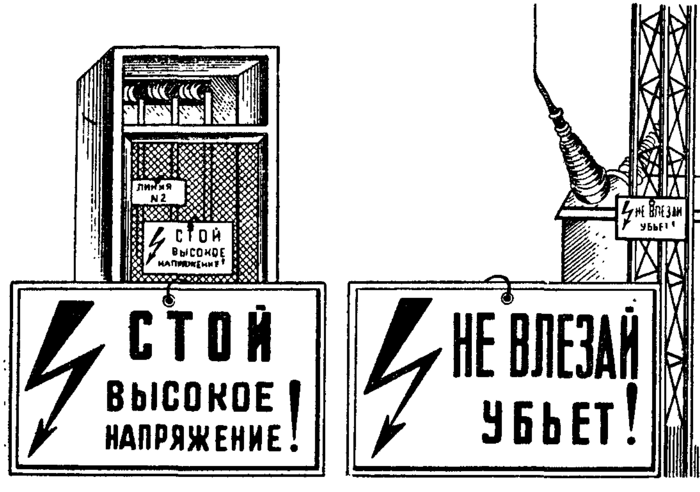




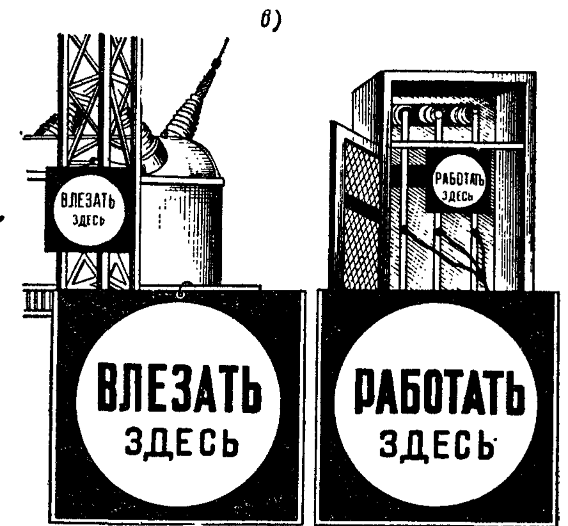
б)

Рис. 399. Плакаты по

а — запрещающие, *б* — предостерегающие (постоянные), *в* — предостерегающие (пере



в)



г)

технике безопасности:

носные), *г* — разрешающие (переносные)

Подготовка рабочего места. При выполнении работ на объекте в обязанности руководителя бригады входит подготовка рабочих мест, а также мест для обработки материалов, производства расчетов, а также хранения приборов и аппаратуры. Рабочее место наладочного звена должно удовлетворять следующим условиям.

Рабочее место подготовляется в непосредственной близости от налаживаемого оборудования; вблизи рабочего места все крупные отверстия — ямы, лазы и пр. должны быть заделаны или перекрыты настилом; над рабочим местом не должны производиться какие-либо строительные работы или, в крайнем случае, необходимо потребовать сооружения временного перекрытия. На рабочем месте должен быть установлен прочный деревянный стол для размещения аппаратуры и сборки испытательных схем; около стола должен быть положен резиновый коврик или деревянная решетка. Питание испытательной схемы и вся внутренняя коммутация должны быть выполнены изолированным проводом должного сечения и с надежной изоляцией. Электропроводка должна быть укреплена и подвешена на достаточной высоте, чтобы исключить возможность случайных обрывов и коротких замыканий; все оголенные места и места соединений проводов необходимо тщательно изолировать, также следует аккуратно изолировать присоединения к зажимам аппаратуры.

Каждое рабочее место должно быть снабжено укрепленным на столе рубильником с предохранителями (закрытыми кожухом) или пакетным выключателем, к которому подводятся провода для подачи напряжения в схему. Заземлять аппаратуру, установленную на столе, не рекомендуется, так как из-за этого возникает опасность попадания под напряжение при случайном касании заземленного корпуса аппарата и одновременно токоведущих частей; понизительные трансформаторы, устанавливаемые под столом, следует заземлять.

Рабочее место должно быть ограждено, иметь хорошее освещение и снабжено предупреждающими плакатами, вывешенными там, где может появиться напряжение. Рекомендуется иметь следующие плакаты: «Стой — высокое напряжение», «Стой — опасно для жизни»; «Под напряжением»; «Не включать — работают люди», «Работать здесь» (рис. 399).

Допуск к месту производства работ должен быть ограничен и посторонний персонал удален, что обязан обеспечить руководитель бригады путем договоренности с соответствующими организациями, ведущими работы на том же объекте.

При работах на электроустановках, находящихся в эксплуатации, руководитель бригады обязан оформить допуск бригады к работе получением соответствующего наряда и лично проверить соблюдение условий безопасности до начала работы со-

вместно с эксплуатационным персоналом («допускающим»). В этих случаях руководитель бригады осуществляет функции «производителя работ»; кроме того, должны быть приняты все организационные и технические меры, обеспечивающие безопасность работ в соответствии с требованиями правил по технике безопасности.

В составе звена должно быть не менее двух человек: ведущий должен иметь квалификацию не ниже IV группы и годовой стаж работы по испытательным работам в электроустановках, а помощник его не ниже III группы.

При выполнении наладки в специальных условиях, например на высоте, необходимо обеспечить дополнительные условия безопасного ведения работ в полном соответствии с требованиями правил по технике безопасности.

Организация хранения приборов. На месте наладочных работ должен быть организован четкий порядок хранения и выдачи приборов. Для этого из числа бригады выделяется один ответственный работник, в ведении которого находится все приборное хозяйство; заводится специальный журнал учета и выдачи приборов, в котором записывается все наличие приборов, аппаратов и приспособлений с указанием их технических данных и состояния, заводских и инвентарных номеров; в журнале открывается для каждого наладчика лицевой счет; ответственность за целость выданных приборов несет наладчик, получивший их.

Выдачу и приемку приборов следует производить в определенные рабочие часы (в начале дня, до и после обеденного перерыва, в конце дня). После окончания работ все приборы (кроме инструмента, находящегося в личном пользовании наладчика) должны сдаваться ответственному за хранение.

Наладчикам запрещается срывать пломбы и вскрывать приборы; при выходе прибора из строя он передается в наладочную электролабораторию, где детально анализируются причины выхода его из строя и составляется акт.

Руководитель бригады, как главное ответственное лицо за организацию приборного хозяйства, обязан периодически следить за его состоянием, проводить инструктаж наладчиков о пользовании приборами и бережном отношении с ними.

Документация и отчет по наладке. Техническая документация, подлежащая сдаче заказчику, состоит из протоколов наладки и испытаний, характеристик машин, аппаратов и др., в виде графиков или осциллограмм, исполнительных и принципиальных и монтажных схем электроустановок.

Рекомендуется следующий порядок составления технической документации. В процессе выполнения наладки ведущий звена систематически производит записи в рабочую тетрадь и рабо-

чие бланки испытаний. Руководитель бригады, а также ответственные по крупным участкам наладки в своих тетрадях отмечают ход наладки, обнаруженные дефекты, изменения в схемах, основные данные измерений и др. Собранный таким путем материал является основным документом при заполнении протокола и составлении технического отчета. Для ускорения сдачи отчетной документации эксплуатационному персоналу необходимо вменить в обязанность ведущему каждого звена, используя записи в рабочих тетрадях, производить без отлагательства заполнение одного экземпляра протоколов наладки.

В процессе выполнения наладочных работ вносятся необходимые исправления в экземпляры рабочих, монтажных и принципиальных схем, находящихся в распоряжении звена. По окончании наладки эти исправления переносятся тушью в чистые экземпляры для сдачи заказчику в качестве исполнительных.

Технический отчет по наладке служит для контроля полноты объема и качества выполнения работ, а также для накопления полученных при наладке практических знаний и опыта и передачи их другим рабочим.

Исходя из этого, технический отчет о проделанной работе должен содержать краткие элементарные сведения, характеризующие технологические и электрические показатели объекта, последовательность и методику выполнения наладочных работ, окончательно достигнутые результаты, оценку качества монтажа, внесенные в процессе наладки изменения и дополнения, выявленные недостатки оборудования и проекта и необходимые рекомендации.

Составление отчета возлагается, как правило, на руководителя бригады, после полного завершения наладочных работ, при участии наладчиков, принимавших участие в наладке данного объекта.

§ 2. СОСТАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ПО НАЛАДОЧНЫМ РАБОТАМ

Протоколы наладки. Результаты испытания и наладки электроустановок вносятся в специальные протоколы, которые являются документами, определяющими пригодность электроустановки к длительной эксплуатации. Единых утвержденных форм протоколов проверки и испытаний электрооборудования не имеется. Разными наладочными организациями, в зависимости от специфических особенностей их работы, применяются различные формы протоколов. Протоколы заполняются в двух экземплярах; один экземпляр сброшюрованных протоколов с приложением исполнительных принципиально-монтажных схем и технического отчета передается эксплуатации с составлением акта о приемке налаженных электроустановок, второй экземпляр хранится в архиве наладочной организации. Все протоко-

лы должны быть подписаны исполнителями (наладчиками), производившими наладочные работы, и руководителем наладочной бригады. В приложениях для примера приводятся некоторые формы протоколов, которые применяются при наладке электроустановок. Ниже даются краткие замечания по заполнению некоторых важнейших протоколов наладки.

Протокол испытания синхронной машины применяется для синхронных машин, работающих в режимах генератора, электродвигателя, компенсатора. Протокол одновременно предусматривает и испытание возбудителя этих машин.

Протокол испытания силовых трансформаторов применяется для силовых трансформаторов и одновременно используется при испытаниях масляных реакторов и заземляющих катушек.

Протокол испытания заземляющего устройства применяется при проверке заземления электроустановок.

В протоколах желательно указывать номера чертежей, схем, по которым были выполнены наладочные работы, соответствие этих проектных схем выполненному монтажу, метод проверки согласованности обмоток и маркировки выводов, метод настройки реле защиты и обоснования принятых уставок. Если в процессе наладки были обнаружены дефекты, например несогласованность обмоток, несоответствие маркировки и т. п., необходимо указать о выполненных изменениях, либо сослаться на номер чертежа, схемы, где внесены эти изменения.

В протоколах и в техническом отчете по наладке желательно иметь приложения в виде актов, отдельных схем и других материалов, помогающих работникам эксплуатации систематически вести паспорта электрооборудования и электроустановки в целом, включая заводские испытания, результаты наладки и опробования при пуске, эксплуатационные данные.

§ 3. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

Каждый рабочий, принимающий участие в наладочных работах по электрооборудованию обязан предварительно пройти медицинский осмотр, изучить основные правила по технике безопасности и технической эксплуатации электрических станций и сетей и электроустановок промпредприятий в объеме, соответствующем выполняемой им работе, и пройти проверку знаний указанных правил в специальной квалификационной комиссии.

Медицинский осмотр определяет пригодность работника по состоянию здоровья к работам в действующих электроустановках с напряжением до и выше 1000 *в* и на высоте, что должно быть указано в заключении врачебной комиссии. Периодичность прохождения осмотра — один раз в 2 года.

Все рабочие должны практически освоить меры оказания

первой помощи при несчастных случаях. Проверка знаний правил проводится при поступлении; повторные — один раз в два года, а также в случае нарушения правил или изменений условий труда рабочего.

При проверке комиссии дают оценку знаний проверяемого, определяют его квалификационную группу и выдают удостоверение по утвержденной форме. Руководитель бригады обязан перед выездом на место наладки проверить срок действия удостоверения у каждого члена бригады и при выдаче задания учитывать квалификационную группу исполнителя. Помимо этого, руководитель бригады должен провести инструктаж всего персонала бригады и индивидуальный инструктаж на рабочем месте с записью в журнал, а также проверить состояние защитных средств по технике безопасности.

Руководитель бригады обязан ознакомиться с правилами внутреннего распорядка предприятия и пройти общий инструктаж со стороны ответственного представителя эксплуатации предприятия.

Ответственность за правильную организацию безопасных условий наладочных работ на месте несет руководитель наладочной бригады, требуя обеспечения общих условий и мероприятий по технике безопасности от предприятия, на котором проводятся работы, и от монтажной организации. При невыполнении требований по обеспечению безопасных условий наладочных работ руководитель бригады обязан прекратить работы, официально поставив об этом в известность руководство предприятия и все заинтересованные организации.

Ответственность за соблюдение правил по технике безопасности и полученных инструкций при непосредственном выполнении наладочных операций несут ведущий звена и все исполнители, которые не только должны знать и строго их соблюдать, но и уметь практически подавать помощь пострадавшему от электрического тока, от ожогов и переломов и при других несчастных случаях.

Обеспечение безопасных условий труда относится не только к наладочному персоналу, но также и к работникам смежных организаций в тех случаях, когда на установку подано напряжение для производства наладки и одновременно в этом районе проводятся строительно-монтажные работы. Защитные средства, применяемые на работах в действующих электроустановках (резиновые диэлектрические перчатки, галоши и боты, резиновые диэлектрические коврики, изолирующие штанги, изолированный инструмент и т. д.), должны удовлетворять требованиям Правил пользования и испытания защитных средств, применяемых в электроустановках, и подвергаться периодическим испытаниям по нормам и в сроки, предусмотренные этими правилами.

С момента передачи электроустановки для обслуживания эксплуатационному персоналу, ответственность за технику безопасности возлагается на эксплуатацию предприятия, что, однако, не исключает необходимость соблюдения всех правил техники безопасности со стороны наладочного персонала, выполняющего только функции контроля. Никаких наладочных работ в переданных в эксплуатацию схемах без разрешения эксплуатационного персонала выполнять не разрешается.

При работах на установках, находящихся в эксплуатации, ответственность за технику безопасности несет эксплуатационный персонал. Руководитель бригады обязан проверить соблюдение всех условий безопасности до начала работы бригады, а члены последней должны строго соблюдать все правила, установленные эксплуатационным режимом.

Период наладки с момента «холодного» опробования до сдачи в эксплуатацию является самым напряженным и ответственным. Поэтому в этот период, наиболее опасный в отношении возможности возникновения несчастных случаев, руководитель бригады обязан провести дополнительный специальный инструктаж бригады и соответствующим образом организовать распорядок рабочего дня, а именно: при необходимости работы в вечерние или ночные смены следует обеспечить нормальный отдых наладчиков до выхода на работу, не допуская ни в коем случае непрерывной работы в вечерние и ночные часы одного и того же персонала.

При возникновении несчастного случая с работником наладочной бригады на предприятии, где производятся наладочные работы, руководитель бригады после оказания помощи пострадавшему обязан немедленно расследовать причину несчастного случая и составить акт.

В результате расследования должны быть точно выяснены причины и приняты совместные решения о мероприятиях, направленных на предотвращение несчастных случаев в дальнейшем.

В соответствии с правилами по технике безопасности при эксплуатации электротехнических установок все измерения переносными приборами, за иключением измерений специальными приборами, в установках напряжением выше 1000 *в* производятся только через стационарные измерительные трансформаторы, а при отсутствии их должны применяться переносные трансформаторы. Под специальными приборами подразумеваются переносные приборы, специально изготовленные для измерений под напряжением выше 1000 *в*. Непосредственное измерение на напряжении выше 1000 *в* без понизительных трансформаторов допускается только по специальной инструкции, под руководством специально обученного лабораторного работника, имеющего квалификационную группу V.

В установках напряжением до 10 *кв* присоединение и отсоединение вольтметров, переносных трансформаторов напряжения и других приборов, не требующих разрыва первичной цепи, допускается производить под напряжением при условии применения проводов с высокой изоляцией (например, провода типа ПВЛ) и специальных наконечников в виде крючков с изолированными рукоятками.

При напряжении установки выше 1000 *в* расстояние от места захвата до ввода провода в рукоятку должно быть не менее 200 *мм*, а общая длина захвата до конца, присоединяемого к токоведущим частям, — не менее 500 *мм*.

При работах с трансформатором напряжения сначала должна быть собрана схема по низшему напряжению, а затем произведено присоединение трансформатора со стороны высшего напряжения. Работу следует производить в очках, диэлектрических перчатках и ботах или стоя на изолирующей подставке.

Провода, которыми переносные приборы и измерительные трансформаторы присоединяются к первичным цепям, должны быть одножильными многопроволочными с изоляцией, соответствующей напряжению первичной цепи. Сечение их должно соответствовать измеряемой величине тока, но не должно быть менее 2,5 $мм^2$. Провода, находящиеся под напряжением, не должны касаться заземленных частей и других фаз. Они должны быть возможно короче, прочно соединены с основной цепью и, при необходимости, укреплены на изолирующей подставке.

Корпусы приборов, изготовленные из непроводящего материала, должны быть надежно изолированы от земли, а металлические корпусы приборов и кожухи трансформаторов — заземлены. Заземленные приборы ставить на изолирующую подставку не разрешается.

Переносные приборы должны располагаться таким образом, чтобы при чтении их показаний опасное приближение к частям, находящимся под напряжением, было исключено.

Все операции, связанные с установкой переносных приборов и измерениями, следует производить осторожно, причем на время производства измерений касаться включенных трансформаторов, приборов, сопротивлений и проводов запрещается.

Всю измерительную установку следует оградить, а на ограждения повесить плакаты, предупреждающие о наличии напряжения. В местах, где имеется повышенная опасность поражения электрическим током из-за сырости, наличия металлических частей и пр., для освещения должны применяться специальные трансформаторы безопасности 12—36 *в*, устанавливаемые в непосредственной близости от щитков сети 127, 220 или 380 *в*, к которой они присоединяются в полном соответствии с требованиями правил техники безопасности.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЯ СИНХРОННОЙ МАШИНЫ

„_____“ ____________________ 196___ г.

1. Паспортные данные

Тип	Заводской №	*P, квт, ква*	*U, кв*	*I, а*	*n, об/мин*
Синхронная машина					
Возбудитель					

2. Электрическое сопротивление обмоток машин и сопротивление гашения поля

Наименование	Маркировка зажимов	Температура окружающей среды, *град*	Сопротивление, *ом*	Примечание
Обмотка статора				
Обмотка ротора				
Параллельная обмотка возбудителя основная				
То же, дополнительная				
Сопротивление гашения поля ротора				
То же, возбудителя				
Шунтовой регулятор				

Продолжение прилож. 1

3. Испытание изоляции обмоток машин и сопротивления гашения поля повышенным напряжением переменного тока

Наименование оборудования	Маркировка зажимов	Сопротивление изоляции до испытания, *Мом*	Испытательное напряжение, *кв*	Длительность испытания, *мин*	Сопротивление изоляции после испытания, *Мом*
Обмотка статора					
Обмотка ротора					
Возбудитель: Обмотка якоря					
Возбудитель: Параллельная обмотка основная					
Возбудитель: То же, дополнительная					
Сопротивление гашения поля ротора					
Шунтовой реостат возбудителя					

4. Характеристика холостого хода возбудителя

$I_{возб}$, *а* ______________________________

$U_{я}$, *в* ______________________________

5. Характеристика холостого хода генератора

$I_{возб}$, *а* ______________________________

$U_{я}$, *в* ______________________________

6. В режиме холостого хода генератора произведено испытание витковой изоляции обмотки статора в течение 5 *мин* подъемом напряжения до ________ *в*, что составляет 130% номинального

7. Характеристика $\frac{\text{короткого замыкания генератора}}{\text{U-образная кривая двигателя}}$

$I_{возб}$, *а* ______________________________

$I_{ст}$, *в* ______________________________

8. Остаточное напряжение генератора при отключенном автомате гашения поля равно ________ *в*

9. Полярность обмоток, маркировка и установка щеток на нейтраль

____

10. Порядок чередования фаз (для генераторов) ______________________________

11. Направление вращения двигателя (если смотреть со стороны соединения с рабочим механизмом) ________

12. Дополнительные испытания ______________________________

13. Заключение ______________________________

Испытание производили:

Протокол проверил

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Наименование организации	Протокол испытания силового двухобмоточного трансформатора	(объект)
		Трансформатор ______ (наименование фидера)
		станционный № ______
		„___“ ______ 196 г.

1. Паспортные данные

Завод-изготовитель	Тип	Мощность, *ква*	Напряжение, *кв*	Ток, *а*	*ек*, %	Число фаз	Схема и группа соединений	Заводской номер

Эскиз крышки	Положение переключ. ВН	Напряжение, *кв*		Ток, *а*	
		ВН	НН	ВН	НН
	От I до V				
	Охлаждение:				

2. Измерение коэффициента трансформации

Положение переключателя	Расчетный коэффициент	Напряжение, *в*		Измеренный коэффициент	Напряжение, *в*		Измеренный коэффициент	Напряжение, *в*		Измеренный коэффициент
		А—В	*а—в*		*В—С*	*в—с*		*С—А*	*с—а*	

3. Измерение сопротивления обмоток постоянному току при температуре, *град*

Положение переключателя	Обмотка высшего напряжения						Обмотка низшего напряжения					
	A		*B*		*C*		*a*		*в*		*c*	
	при температуре измерения	привед. к +75°	при температуре измерения	привед. к +75°	при температуре измерения	привед. к +75°	при температуре измерения	привед. к +75°	при температуре измерения	привед. к +75°	при температуре измерения	привед. к +75°
От I до V												

4. Измерение сопротивления изоляции

Наименование	Обмотка ВН—корпус	Обмотка НН—корпус	Между обмотками	Измерение производилось при температуре обмоток, *град*
Сопротивление изоляции, *Мом*				

5. Испытание электрической прочности изоляции

Испытуемая изоляция	Главная изоляция		Витковая изоляция	Испытание производилось при температуре обмоток, *град*
Испытуемая обмотка	ВН	НН	ВН и НН	
Величина испытательного напряжения, *кв*				
Продолжительность испытаний, *мин*				

Примечание. Каждая обмотка испытывалась относительно корпуса и другой заземленной обмотки.

6 Проверка группы соединения

Наименование выводов	*A—B*	*B—C*	*A—C*	Группа соединения	Метод определения
a—b					$\frac{\text{поляромер}}{\text{ваттметр}}$
b—c					
a—c					

7. Испытание стяжных болтов активной стали

<table>
<tr><td rowspan="5">Схема расположения и нумерация болтов</td><td colspan="2">Измерение сопротивления изоляции</td><td colspan="3">Испытание повышенным напряжением</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Номера болтов</td><td rowspan="4">Сопротивление изоляции, Мом</td><td>Испытательное напряжение, в</td><td>Род тока</td><td>Длительность испытаний, мин</td></tr>
<tr><td></td><td>постоянный
———
переменный</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">Номера болтов</td></tr>
<tr><td colspan="2">выдержавших испытание</td><td>не выдержавших испытание</td></tr>
</table>

8. Опыты холостого хода и короткого замыкания

Опыт холостого замыкания	Питание со стороны	Положение переключателей	Температура, *град*	Напряжение, *в*			Ток, *а*		
				A—B	*B—C*	*C—A*	*a*	*b*	*c*
	ВН/НН								

Опыт короткого замыкания	Питание со стороны	Положение переключателей	Температура, *град*	Напряжение, *в*			Ток, *а*			*сек*	
				A—B	*B—C*	*C—A*	*A*	*BC*	среднее	в вольтах	в %
	ВН/НН										

9. Измерение емкости и тангенса угла диэлектрических потерь обмоток

Испытуемые обмотки	Температура, *град*	Чувствительность моста	Шунт моста	Переменное сопротивление моста K_3, *ом*	Емкости магазина емкости	Емкости испытуемого объекта	Тангенс угла tg δ, %	Схема испытания (нормальная, перевернутая)
					C_4, *мкф*	C_x, *мкф*		
ВН — корпус								
НН — корпус								
ВН — НН								

Наименование организации

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЯ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ

(объект)

(наименование фидера)

(место установки)

„ ___ “ ____________ 196__ г.

1. Паспортные данные

Выключатель			Привод		
Завод-изготовитель	Тип	Номинальное напряжение, *кв*	Завод-изготовитель	Номинальное напряжение оперативного тока, *а*	
				катушка включения	катушка отключения и промежуточный контактор
Номинальный ток, *а*	Разрывная мощность, *Мва*	Заводской номер	Тип	Заводские номера	
				привод	промежуточный контактор включения

2. Измерение сопротивления контактов выключателя

Фаза или заводской номер бака	
Сопротивление контактов, *Мом*	

3. Испытание катушек привода

Наименование катушек	Секция	Сопротивление изоляции, *Мом*	Сопротивление постоянному току, *ом*	Температура при испытаниях, *град*	Минимальное напряжение четкого срабатывания	
					в	в % номинального напряжения
Катушка отключения						
Промежуточный контактор включения						
Катушка включения					Примечание: Вышеприведенные значения измерены на зажимах катушки при подаче напряжения толчком	

4. Измерение времени включения и отключения выключателя

Наименование операции	Время, *сек*				Напряжение оперативного тока при испытаниях, *в*
	первый замер	второй замер	третий замер	среднее	
Включение					
Отключение					

5. Опробование работы привода при дистанционном управлении

Режим оперативного тока	Операции	Величина напряжения оперативного тока		Количество операций	Работа привода
		в	% номинального		
Повышенное напряжение	Включение		115	5	
Номинальное напряжение	Отключение Включение		100 100	10 10	
Пониженное напряжение	Отключение Включение		80 90	10 5	

6. Заключение
7. Контрольные работы

№ п/п	Наименование	Пределы измерения	Класс точности	Заводской номер

Испытание производил: **Протокол проверил:**

______________ ( ) ______________ ( ) ______________ ( )

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

ПРОТОКОЛ НАЛАДКИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С К. З. РОТОРОМ

„______“______________ 196__ г.

1. Проверка соответствия проекту коммутации главных цепей и цепей управления __________________

2. Проверка согласованности обмоток и маркировки выводов электродвигателей __________________

3. Проверка и настройка реле защиты (метод) ____________________________________

____

4. Измерение сопротивления изоляции мегомметром на ___________________________ *в*

№ механизма	Наименование механизма	Технические данные электродвигателя						Данные испытания	
		тип	заводской №	*P*, *квт*	*n*, *об/мин*	*U*, *в*	*I*, *а*	I_n	T_{xx} с механизмом
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Тип пусковой аппаратуры	Тип защиты				Максимальное реле (ток срабатывания)	Сопротивление изоляции, *Мом*		Примечание
	предохранители, плавкие вставки	тепловое реле				обмотка статора	схема в целом	
		№ нагревательного элемента	испытание					
			a	время срабатывания				
11	12	13	14	15	16	17	18	19

При наладке произведены следующие испытания:

1. Испытание схемы управления и действия блокировочных цепей

2. Испытание электродвигателя при работе вхолостую без механизма и с механизмом, проверка правильности направления вращения, измерение тока холостого хода

3. Комплексное испытание электропривода под нагрузкой с участием механизмов

Заключение:

Испытание производили: **Руководитель бригады**

ПРИЛОЖЕНИЕ

Наименование организации

____

____

ПРОТОКОЛ ПРОВЕРКИ МГНОВЕННОГО РЕЛЕ ТОКА (НАПРЯЖЕНИЯ)

____
(объект)

____
(защищаемый элемент)

____
(наименование защиты)

„____“ ______________ 196__ г.

1. Паспортные данные

Завод-изготовитель	Тип	Пределы уставок	Заводской №

2. Проверка механической части реле

Объем произведенных работ (подчеркнуть)	Состояние механической части после произведенных работ
Проверка без разборки реле Проверка с разборкой реле	

3. Испытание изоляции токоведущих частей реле

	Токоведущие части — корпус	Между токоведущими частями	Примечания
Сопротивление изоляции, *Мом*			
Испытание повышенным напряжением $\frac{\text{постоянного}}{\text{переменного}}$ тока, *кв*			Продолжительность испытания, *мин*

4. Проверка шкалы и регулировка рабочей уставки

Наименование	Минимальная уставка		Максимальная уставка		Рабочая уставка
Соединение катушек	параллельное соединение	последовательное соединение	параллельное соединение	последовательное соединение	параллельное / последовательное
Уставка по шкале					
$\frac{\text{ток, } a}{\text{напряжение, } в}$ трогания					
$\frac{\text{ток, } a}{\text{напряжение, } в}$ возврата					
Коэффициент возврата					

5. Проверка работы контактов

Уставка по шкале	Величина испытательного $\frac{\text{тока, } a}{\text{напряжения, } в}$	Работа контактов

6. Заключение

7. Контрольные приборы

№ п/п	Наименование	Пределы измерения	Класс точности	Заводской №

Испытание произвели:

________________( )

________________( )

Протокол проверил

МАРКИРОВКА (ПРИМЕРЫ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ)

Система прибора	Знак	Род тока	Знак	Класс прибора	Знак класса (в кружке)
Магнитоэлектрическая		Постоянный		0,1	0,1
Электромагнитная		Переменный 50 *гц*: Однофазный		0,5	0,5
		Переменный 50 *гц*: Трехфазный: Равномерная нагрузка		1,0	1,0
		Переменный 50 *гц*: Трехфазный: Неравномерная нагрузка		1,5	1,5
		Переменный 50 *гц*: Трехфазный: Неравномерная нагрузка четырехпроводной системы		2,5	2,5
Ферродинамическая		Постоянный и переменный		4,0	4,0
		Положение шкалы			
Индукционная		вертикальное		Товарный знак завода-изготовителя	

Система прибора	Знак	Род тока	Знак	Класс прибора	Знак класса (в кружке)
Выпрямительная (детекторная)		горизонтальное	→	Обозначение типа (шифр) прибора	М340
		наклонное (под углом 60°)	∠ 60°		
Термоэлектрическая		Положение прибора в земном магнитном поле	S → N	Примеры обозначения способов включения	
		Испытательное напряжение изоляции прибора (например, на 2 *кв*)	2 *кв*	а) с наружным шунтом 75 *мв* б) с отдельным добавочным сопротивлением 3 *мг* в) с трансформатором тока $\frac{400}{5}$ г) с трансформатором напряжения $\frac{6000}{100}$	
Электростатическая		Категория защищенности			
		от внешних магнитных полей	III		
Электроиио-ламповая		от внешних электрических полей	II		
		Группа прибора по условиям эксплуатацни	B		

ОРИЕНТИРОВОЧНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ МОЩНОСТИ, ПОТРЕБЛЯЕМОЙ ПРИБОРАМИ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ

Приборы	Мощность, выраженная *вт* (*ва*)	
	амперметров и последовательных обмоток при токе 5 *а*	вольтметров и параллельных
Амперметры магнитоэлектрические	0,2÷0,5	—
» детекторные (выпрямительные)	0,2÷0,5	—
Амперметры термоэлектрические		
» электромагнитные	1÷2,5	—
» электродинамические	3,5÷10	—
» индукционные	4÷7,5	—
» тепловые	2÷2,5	—
Вольтметры магнитоэлектрические		
» детекторные (выпрямительные)	—	0,1÷1
Вольтметры электромагнитные	—	4÷6
» электродинамические	—	6÷12
» индукционные	—	5÷10
» тепловые	—	8÷15
Ваттметры электродинамические	1,5÷5	3÷5
» индукционные	2÷5	3÷6
Фазометры электродинамические		
» ферродинамические	3,5	5÷8
Счетчики индукционные	1÷2,5	1÷4
Герцметры	—	2÷5
Самопишущие приборы	5÷15	—
» вольтметры	—	10÷20
» ваттметры	3÷10	8÷15

Приставки к электрическим и магнитным единицам

Наименование приставок	Отношение к главной единице	Обозначения	
		русским шрифтом	латинским или греческим шрифтом
Пико	10^{-12}	*п*	*P*
Нано	10^{-9}	*н*	*n*
Микро	10^{-6}	*мк*	*μ*
Милли	10^{-3}	*м*	*m*
Санти	10^{-2}	*с*	*s*
Деци	10^{-1}	*д*	*d*
Дека	10	*дк*	*dc*
Гекто	10^{2}	*г*	*h*
Кило	10^{3}	*к*	*k*
Мега	10^{6}	*М*	*M*

ЗНАЧЕНИЕ НОМИНАЛЬНЫХ ВТОРИЧНЫХ НАГРУЗОК ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА С ВТОРИЧНЫМ ТОКОМ 5 *а*

Номинальная вторичная нагрузка, *ом*	0,1	0,15	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,6	2	2,4	3	4
Нижний предел вторичной нагрузки, *ом*	0,05	0,1	0,15	0,15	0,15	0,2	0,25	0,3	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Номинальная мощность, *ва*	2,5	3,75	5,0	10	15	20	25	30	40	50	60	75	100

Для трансформаторов тока с вторичным током *1 а* значение номинальных вторичных нагрузок в омах следующее: 5—10—20—25—30—40—50—60—75—100 *ом.*

ПРИЛОЖЕНИЕ 9

КЛАССЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ И ДОПУСТИМЫЕ ПОГРЕШНОСТИ

(ГОСТ 1983—43)

Класс точности	Первичное напряжение в процентах от номинального значения	Допустимое значение		Нагрузка вторичной обмотки в процентах от номинальной и при cos φ=0,8
		погрешности по коэффициенту трансформации, %	угловая погрешность	
0,2*	90—110	±0,2	±10	25—100
0,5	90—110	±0,5	±20	25—100
1,0	90—110	±1,0	±40	25—100
3,0	100	±3,0	не нормируется	25—100

* Допустимые погрешности даны согласно инструкции Комитета стандартов, мер и измерительных приборов № 69—44.

ПРИЛОЖЕНИЕ 9

НОРМЫ НА ТРАНСФОРМАТОРНОЕ МАСЛО

Наименование показателей	„Свежее" сухое масло (чистое)	Эксплуатационное масло
Вязкость кинематическая, *cст* *:		
а) при 20°, не более	30,0	—
б) при 50°, не более	9,6	—

* Единицей ее измерения служит стокс (*ст*). Стокс характеризует вязкость масла, плотность которого равна 1 *гр/см*³. Сотая часть стокса называется сантистоксом (*cст*).

Наименование показателей	„Свежее" сухое масло (чистое)	Эксплуатационное масло
Кислотное число в *мг* КОН на 1 *г* масла, не более	0,05	0,4
Стабильность:		
а) осадок после окисления, % не более . . .	0,10	—
б) кислотное число после окисления в *мг* КОН на 1 *г* масла не более	0,35	—
в) испытание способности масла к образованию водорастворимых кислот в начале старения	Выдерживает	—
Зольность, % не более	0,005	—
Содержание водорастворимых кислот и щелочей .	Отсутствие	
Содержание механических примесей		
Температура вспышки, определенная в закрытом тигле, *град* не ниже	135	—
Температура застывания, *град* не выше	—45	—
Натровая проба с подкислением в баллах не более	2	2
Прозрачность при 5°	Прозрачно	—

Кроме указанных показателей, предусмотренных ГОСТ 982—56, электрическая прочность *кв*/1 *мм* и угол диэлектрических потерь (tg δ) трансформаторного масла должны удовлетворять согласно ПТЭ значениям, приведенным в приложении 10.

ПРИЛОЖЕНИЕ 10

НОРМЫ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА

Наименование показателей	Свежее сухое масло (чистое)	Эксплуатационное масло
Электрическая прочность, *кв*:		
а) для трансформаторов ниже 10 *кв*	35	20
б) для трансформаторов 11÷35 *кв* . . .	35	25
в) для трансформаторов 35 *кв* и выше . . .	40	35
Угол диэлектрических потерь, % не более*:		
а) при 20°	0,3	2
б) при 70°	2,5	7

* Для трансформаторов 110 *кв* и выше.

ЛИТЕРАТУРА

Правила устройства электроустановок. Раздел I. Госэнергоиздат, 1957.

Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. Госэнергоиздат, 1961.

Правила технической эксплуатации и безопасности обслуживания электроустановок промышленных предприятий. Госэнергоиздат, 1961.

Объем и нормы испытаний электрооборудования. Госэнергоиздат, 1957.

Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок станций и подстанций. Госэнергоиздат, 1958.

Правила техники безопасности для строительно-монтажных работ. Госстройиздат, 1958.

Пособие для изучения правил технической эксплуатации электрических станций и сетей. Госэнергоиздат, 1954.

Сборники директивных материалов госинспекции по промэнергетике и энергонадзору. Госэнергоиздат, 1957, 1959.

Инструкция по эксплуатации генераторов. Госэнергоиздат, 1954.

Программа приемно-сдаточных испытаний турбогенераторов и синхронных компенсаторов с водородным и воздушным охлаждением и гидрогенераторов, устанавливаемых союзными заводами на электростанциях и подстанциях. Госэнергоиздат, 1957.

Сборник инструкций по включению на параллельную работу синхронных генераторов и компенсаторов способом самосинхронизации. Госэнергоиздат, 1955.

Инструкция по эксплуатации трансформаторов. Госэнергоиздат, 1961.

Инструкция по прокладке кабелей напряжением до 35 *кв*. Госстройиздат, 1960.

Инструкция по установке и эксплуатации синхронных машин с горизонтальным валом, изд. II, Москва, б. МЭП.

Инструкция ОВБ412.226. Трансформаторы силовые масляные всех мощностей для напряжения до 220 *кв*, монтаж и введение в эксплуатацию. Запорожский трансформаторный завод, 1959.

Инструкция П5-322. Трансформаторы силовые масляные всех мощностей для напряжения до 220 *кв*, монтаж и введение в эксплуатацию. Московский трансформаторный завод, 1959.

Инструкция по сушке синхронных генераторов и компенсаторов в неподвижном состоянии. Госэнергоиздат, 1953.

Инструкция по эксплуатации силовых кабельных линий напряжением до 35 *кв* включительно. Госэнергоиздат, 1954.

Инструкция по проверке электроизмерительных приборов. Госэнергоиздат, 1957.

Инструкция по испытаниям электрической прочности изоляции вторичных цепей повышенным напряжением переменного тока. Госэнергоиздат, 1954.

Руководящие указания по организации электроизмерительного хозяйства

и надзора за электроизмерительными приборами на электростанциях и в сетях энергосистем. Госэнергоиздат, 1958.

Инструкция по эксплуатации и ремонту масляных выключателей МКП-35. Госэнергоиздат, 1952.

Инструкция по эксплуатации и ремонту масляных выключателей ВМ-22 и ВМ-23. Госэнергоиздат, 1953.

Инструкция по эксплуатации и ремонту масляных выключателей ВМ-35 и ВМД-35. Госэнергоиздат, 1953.

Инструкция по эксплуатации и ремонту масляных выключателей МГГ-10. Госэнергоиздат, 1953.

Инструкция по монтажу и эксплуатации грузовых и нормальных приводов серии КАМ. Госэнергоиздат, 1952.

Инструкция по эксплуатации и ремонту ручных автоматических приводов. Госэнергоиздат, 1956.

Инструкция по эксплуатации и ремонту электромагнитных приводов. Госэнергоиздат, 1955.

Инструкция по монтажу и эксплуатации грузовых приводов АПВГ и УГП. Госэнергоиздат, 1954.

Правила устройства электроустановок. Раздел III. Защита и автоматика. Госэнергоиздат, 1957.

Инструкция по проверке промежуточных и сигнальных реле. Госэнергоиздат,. 1959.

Инструкция по наладке и эксплуатации газовой защиты. Госэнергоиздат, 1956.

Инструкция по наладке и проверке мгновенных реле тока и напряжения серий ЭТ и ЭН. Госэнергоиздат, 1960.

Инструкция по проверке правильности включения реле направления мощности. Госэнергоиздат, 1960.

Инструкция по наладке и эксплуатации устройств компаундирования с электромагнитным корректором напряжения. Госэнергоиздат, 1958.

Правила пользования и испытания защитных средств, применяемых в электротехнических установках. Госэнергоиздат, 1952.

Информационные материалы № 23 (ЦНИЭЛ), Рациональные режимы сушки трансформаторов в своих баках. Госэнергоиздат, 1958.

ОРГРЭС, информационное сообщение № Э-11/55. Элементы оборудования электротехнических лабораторий электростанций и сетей. Госэнергоиздат, 1956.

ГОСТ 183—55. Машины электрические, общие технические требования.

ГОСТ 5616—50. Генераторы электрические гидротурбинные (гидрогенераторы), технические требования.

ГОСТ 3484—55. Трансформаторы силовые, методы испытания.

ГОСТ 1516—60. Трансформаторы, аппараты и изоляторы высокого напряжения, нормы и методы испытаний электрической прочности изоляции.

ГОСТ 7217—59. Электродвигатели трехфазные асинхронные мощностью от 10 *вт* до 10 000 *квт*, методы испытаний.

ГОСТ 687—57. Выключатели высоковольтные.

ГОСТ 825—41 переиздан в 1957 г., Аккумуляторы электрические свинцовые для стационарных установок.

Передовой опыт производства, Вопросы эксплуатации сетей и подстанций промышленных предприятий. Московский дом научно-технической пропаганды им. Ф. Э. Дзержинского, 1959.

Петров Г. Н. Электрические машины, ч. I, Введение, Трансформаторы. Госэнергоиздат, 1956.

Костенко М. П. и Пиотровский Л. М. Электрические машины, ч. I и 2.

Хмелевский В. С. Наладка электропривода, Госэнергоиздат, 1958.

Хомяков М. В. Профилактические испытания высоковольтного оборудования. Госэнергоиздат, 1957.

Вульман Г. Л. Эксплуатация генераторов на электростанциях. Госэнергоиздат, 1959.

П. Г. Грудинский, Г. С. Сафразбекян и А. А. Смирнов. Техника эксплуатации электрической части станций и подстанций. Госэнергоиздат, 1961.

Кондахчан В. С. Эксплуатация трансформаторов. Госэнергоиздат, 1957.

Жерве Г. К. Руководство для электромонтеров по испытанию электрических машин. Госэнергоиздат, 1955; того же автора. Промышленное испытание электрических машин. Госэнергоиздат, 1960.

Баптиданов Л. Н. и Тарасов В. И. Электрические станции и подстанции. Госэнергоиздат, 1958; тех же авторов. Электрооборудование электрических станций и подстанций. Госэнергоиздат, 1961.

Беркович М. А. и Семенов В. А. Основы техники и эксплуатации релейной защиты. Госэнергоиздат, 1960.

Жуков А. К. Электрооборудование вторичной коммутации и ее монтаж. Госэнергоиздат, 1958.

Соколов Д. В. Вторичная коммутация в распределительных устройствах. Госэнергоиздат, 1958.

Кофман К. Д. Монтаж силового электрооборудования. Госэнергоиздат, 1958.

Виноградов Н. В. Электрослесарь по ремонту и монтажу промышленного электрооборудования. Трудрезервиздат, 1959.

Коварский Е. М. Ремонт электрических машин. Госэнергоиздат, 1958.

Тареев. Электрические материалы. Госэнергоиздат, 1958.

Вострокнутов Г. Г. Техника измерений электрических и магнитных величин. Госэнергоиздат, 1956.

Константинов Б. А., Лукьянов Т. П. Эксплуатация электроустановок промышленных предприятий. Госэнергоиздат, 1955.

Попов В. С., Электротехнические измерения и приборы. Госэнергоиздат. Судпромгиз, 1958.

Центроэнергочермет. Упрощенные схемы пуска и защиты синхронных двигателей. Металлургиздат, 1959.

Сборник технической информации. Тяжпромэлектропроект, 1959, № 1.

Плис Г. С. Справочник по стандартному электрооборудованию. Госэнергоиздат, 1959.

Бараиов Б. М., Поклад П. Г., Смирнов Л. П., Фомичев Г. И. и Фридкин И. А. Сооружение и эксплуатация кабельных линий. Госэнергоиздат, 1959.

Бюллетень Тяжпромэлектропроект, 1958, № 11.

Московский дом Научно-технической пропаганды им. Ф. Э. Дзержинского, семинар «Рациональная эксплуатация электрооборудования промышленных предприятий» (конспекты докладов), сборники № 1, 2 и 3, 1959.

Балуев В. К. Библиотека электромонтера. Техника безопасности при эксплуатации переносных электроустановок. Госэнергоиздат, 1960.

Хисамутдинов Р. Х. Коммутация машин постоянного тока. Металлургиздат, 1953.

Шкурин Г. П. Справочник по электроизмерительным и радиоизмерительным приборам, электроизмерительные приборы. Военное издательство, 1960.

Терещенко Н. К. Схемы блокировки и автоматического управления электродвигателями. Госэнергоиздат, 1957.

Пиотровский Л. М., Васютинский С. Б., Несговорова Е. Д. Испытание электрических машин, часть II, Госэнергоиздат, 1960.

Соловьев П. Ф. Основы монтажа и эксплуатации электрооборудования промышленных установок. Госэнергоиздат, 1961.

Чернобровов Н. В. Релейная защита. Госэнергоиздат, 1958.

Кузнецов М. И. Основы электротехники. Трудрезервиздат, 1958.
Поляков Г. Е., Коварский А. И. Монтаж и эксплуатация промышленного оборудования. Трудрезервиздат, 1958.
Баранов Б. М., Поклад П. Г., Смирнов Л. П., Фомичев Г. И., Фридкин И. А. Руководство для мастеров и монтеров кабельных сетей. Госэнергоиздат, 1959.
Соколов Б. А., Федоров А. А. Электроснабжение промышленных предприятий. Госэнергоиздат, 1961.
Москалев А. Г. Как читать электрические схемы. Госэнергоиздат, 1957.
Кузнецов П. В. Монтаж распределительных устройств высокого напряжения. Госэнергоиздат, 1956.
Соколов Д. В. Монтаж электрооборудования трансформаторных подстанций промышленных предприятий. Госстройиздат, 1957.
Киреев М. И., Коварский А. И. Монтаж и эксплуатация электрических станций, подстанций и линий передач. Профтехиздат, 1960.
Завод «Электросила». Инструкция по сушке турбогенераторов, ОБС, 460.008, 1959.
Булгаков Н. И. Группа соединения трансформаторов. Госэнергоиздат, 1955.
Каганович Е. А. Испытание трансформаторов малой и средней мощности. Госэнергоиздат, 1959.
Гемке Р. Г. Неисправности электрических машин. Госэнергоиздат, 1960.
Поляков Г. Е. Устройство электрических станций, подстанций и линий электропередачи. Профтехиздат, 1961.
Полтев В. К., Смолников Л. П. Справочное руководство электрика металлургического завода. Металлургиздат, 1960.
Кожин А. Н. Релейная защита линий 3—10 *кв* на переменном оперативном токе. Госэнергоиздат, 1960.
Плетнев Л. Ф. Реле прямого действия, их наладка и проверка. Госэнергоиздат, 1961.
Дементьев В. С. Как определить место повреждения в силовом кабеле. Госэнергоиздат, 1960.
Соколов Н. М. Универсальный прозвоночный аппарат. Госэнергоиздат, 1960.
Лившиц Д. С. Нагрев проводников и защита предохранителями в электросетях до 1000 *в*. Госэнергоиздат, 1959.
Черняев К. К. Обслуживание распределительных устройств высокого напряжения. Госэнергоиздат, 1961.
Абтов И. С., Хомяков М. В. Уход за изоляционным маслом. Госэнергоиздат, 1960.
Федотов Б. А. Схемы электрических счетчиков. Госэнергоиздат, 1960.
Злобин Б. В. Испытания силовых трансформаторов на месте монтажа. Госэнергоиздат, 1961.
Мусаэлян Э. С. Проверка и испытания синхронных генераторов в процессе монтажа. Госэнергоиздат, 1961.
Минин Г. П. Измерение мощности при испытании и наладке электрооборудования. Госэнергоиздат, 1961.
Хомяков М. В. Уход за электрическими контактами высоковольтных распределительных устройств. Госэнергоиздат, 1961.
Гомберг А. Е. Измеритель заземления. Госэнергоиздат, 1961.
Найфельд М. Р. Что такое защитное заземление и как его выполнять. Госэнергоиздат, 1960.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Лукьянов Тихон Петрович

НАЛАДКА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК. М., Профтехиздат, 1962.

620 с. с илл. 6П2.11

* * *

Научный редактор *С. И. Лезнов*
Редактор *А. Л. Фаерман*
Технический редактор *А. М. Токер*
Корректор *М. М. Добрянская*

А-01033. Сдано в иабор 24/I 1962 г. Подп. к печ. 3/VII 1962 г.
Формат бум. 60×90/16—38,75 п. л. В 1 п. л. 38 100 зн.
Уч.-изд. 36,95 л. Уч. № 4/4720. Тираж 65 000. Цена 1 р. 12 к.

Издательство «Профтехиздат».
Москва, Центр, Хохловский пер., 7.

Набрано тип. Профтехиздата. Москва, Хохловский пер., 7.
Изд. № 2651. Тип. зак. № 3693.

Сматрицироваио и отпечатано типографией «Красиый пролетарий» Госполитиздата Министерства культуры СССР.
Москва, Красиопролетарская, 16.